



TRABAJO FIN DE GRADO EN COOPERACIÓN INTERNACIONAL AL
DESARROLLO

DISEÑO DE LA RED DE SANEAMIENTO Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA VEREDA SANTA ISABEL, LA COCHA, COLOMBIA

Vereda Santa Isabel, La Cocha, Colombia



AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO

TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO E ISABEL DEL CASTILLO

2024/25

GRADO EN INGENIERIA CIVIL Y TERRITORIAL

ÁREA TEMÁTICA: COOPERACIÓN AL DESARROLLO, SANEAMIENTO

AGRADECIMIENTOS

Gracias, papá y mamá. Siempre presentes, siempre apoyando.

Gracias, Manu, Cata y Clara. La vida con ustedes es pura risa.

Gracias, amigos, los nuevos y los de siempre.

Gracias, Mendoza, presente en mí todos los días.

Gracias, Madrid, por ser hoy mi hogar.

Este trabajo es el resultado de años de entrega y sacrificio. Sin ellos,
hubiera sido imposible.

RESUMEN

El presente proyecto aborda el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y su respectiva red de saneamiento para la Vereda Santa Isabel, en la Laguna de La Cocha, Colombia.

El trabajo surge como colaboración entre la Universidad Politécnica de Madrid, la Fundación Ayuda en Acción y la Fundación José Entrecanales Ibarra en el marco de la Cooperación Internacional al Desarrollo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, para brindar solución al endémico problema del saneamiento en la región

Se planteará una solución técnica, económica, social y medioambientalmente viable y sostenible, la cual presenta la característica de ser fácilmente adaptable a las otras 16 Veredas que se alzan a orillas de la laguna, teniendo así, un enorme impacto potencial en el desarrollo de la región y el bienestar de sus habitantes.

SUMMARY

This project concerns the design of a wastewater treatment plant and its corresponding sanitation network for the community of Vereda Santa Isabel, located at La Cocha Lagoon, Colombia.

The initiative is the result of a collaboration between the Universidad Politécnica de Madrid, the Ayuda en Acción Foundation, and the José Entrecanales Ibarra Foundation, within the framework of International Development Cooperation and the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda. Its purpose is to provide a response to the long-standing sanitation challenges faced by the region.

The proposed solution is conceived to be technically, economically, socially, and environmentally viable and sustainable. Furthermore, it is designed with the capacity to be readily adapted to the other 16 communities situated along the shores of the lagoon, thus offering a significant potential impact on regional development and the well-being of its population.

CONTENIDO DEL PROYECTO

Documento N°1: Memoria y Anejos

Documento N°2: Planos

Documento N°3: Pliego de Prescripciones Técnicas

Documento N°4: Presupuesto

DOCUMENTO N°1: MEMORIA Y ANEJOS

Contenido

- Memoria
- Anejo N°1: Antecedentes
- Anejo N°2: Geología y Geotecnia
- Anejo N°3: Topografía y Selección del Emplazamiento
- Anejo N°4: Climatología
- Anejo N°5: Situación Actual
- Anejo N°6: Estudio de Alternativas
- Anejo N°7: Normativa
- Anejo N°8: Dimensionamiento de la Red de Saneamiento y el Sistema de Depuración
- Anejo N°9: Estudio Ambiental, Impacto y Afecciones
- Anejo N°10: Gestión de Residuos
- Anejo N°11: Control de Calidad
- Anejo N°12: Explotación y Mantenimiento
- Anejo N°13: Justificación de Precios
- Anejo N°14: Plan de Obra
- Anejo N°15: Seguridad y Salud

MEMORIA

ÍNDICE

1. Introducción y Contexto del Proyecto	4
2. Datos Geológicos y Geotécnicos	6
2.2. Riesgos Geológicos	7
3. Topografía y Emplazamiento del Sistema de Depuración	7
4. Climatología	10
5. Situación actual del abastecimiento y saneamiento en la Vereda Santa Isabel	11
6. Datos de diseño y dimensionamiento del sistema de depuración y la red de saneamiento.....	13
7. Dimensionamiento de la Estación Depuradora	15
8. Impacto Ambiental	17
8.1. Impactos negativos y positivos	17
8.2. Medidas mitigadoras	18
8.2.1. En fase de construcción	18
8.2.2. En fase de operación	19
9. Gestión de Residuos.....	19
10. Control de Calidad	20
11. Explotación y Mantenimiento	21
12. Plan de Obra.....	23
13. Seguridad y Salud	23
14. Presupuesto y justificación de precios	25
15. Referencias	27
16. Disposición final	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU	4
Figura 2: Mapa Colombia. Fuente: Google	5
Figura 3: Ubicación de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Google Earth	6
Figura 4: Suelo presente en la Vereda Santa Isabel. Fuente: Fotografía propia	7
Figura 5: Modelo SIG de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Elaboración Propia a partir de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi	8
Figura 6: Emplazamientos posibles PTAR. Fuente: Elaboración propia	9
Figura 7: Trazado de la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia ...	10
Figura 8: Clasificación Climática de Caldas-Lang. Fuente: IDEAM	11
Figura 9: Caudales del proyecto. Fuente: Elaboración propia	13
Figura 10: Caudales de diseño. Fuente: Elaboración propia	14
Figura 11: Concentración de contaminantes. Fuente: Elaboración propia ...	14
Figura 12: Valores límite de vertido. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MinAmbiente	15
Figura 13: Esquema de funcionamiento de la estación depuradora. Fuente: Elaboración propia	15
Figura 14: Pretratamiento prefabricado ACO REMOSA. Fuente: ACO REMOSA	16
Figura 15: Tanque Imhoff prefabricado SALHER. Fuente: SALHER	16
Figura 16: Esquema de depuración. Fuente: CEDEX	17
Figura 17 Diagrama de Gantt - Plan de Obra	23
Figura 18: Señalización de obra. Fuente: Google	25
Figura 19: Resumen Capítulo 1	26
Figura 20: Resumen Capítulo 2	26
Figura 21: Resumen Capítulo 3	26
Figura 22: Resumen Capítulo 4	26
Figura 23: Resumen Presupuesto de Ejecución Material	27
Figura 24: Presupuesto Base de Licitación	27

1. Introducción y Contexto del Proyecto

El presente proyecto se clasifica como un proyecto de Cooperación Internacional al Desarrollo Sostenible, impulsado por la Fundación Ayuda en Acción Colombia y la Universidad Politécnica de Madrid, con el apoyo económico de la Fundación José Entrecanales Ibarra para el viaje a la zona de estudio.

Se busca obtener un diseño para la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales para la vereda Santa Isabel, ubicada en la desembocadura de la laguna (rio Guamuez), este sistema deberá evitar el vertimiento de aguas residuales de 25 familias que habitan esta vereda y que buscan mediante alternativas de producción agroecológica de alimentos y el turismo sostenible, una alternativa amigable con el medio ambiente que permita la generación de ingresos sin deteriorar el bosque y contaminar el recurso hídrico de este ecosistema perteneciente a la Amazonía Colombiana.

Este proyecto, por tanto, tiene como espíritu dar un paso para la consecución del Objetivo de Desarrollo Sostenible N°6 Agua y Saneamiento e, indirectamente, de los objetivos N°3 Salud, N°13 Acción por el Clima y N°11 Comunidades Sostenibles de la Agenda 2030.



Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU

La vereda Santa Isabel se encuentra en el Municipio de Pasto, que pertenece a su vez al departamento de Nariño. Dicho municipio se encuentra en el límite de la región andina y la Amazonía. El humedal de La Cocha y, por lo tanto, Santa Isabel, se encuentran en esta última.



Figura 2: Mapa Colombia. Fuente: Google

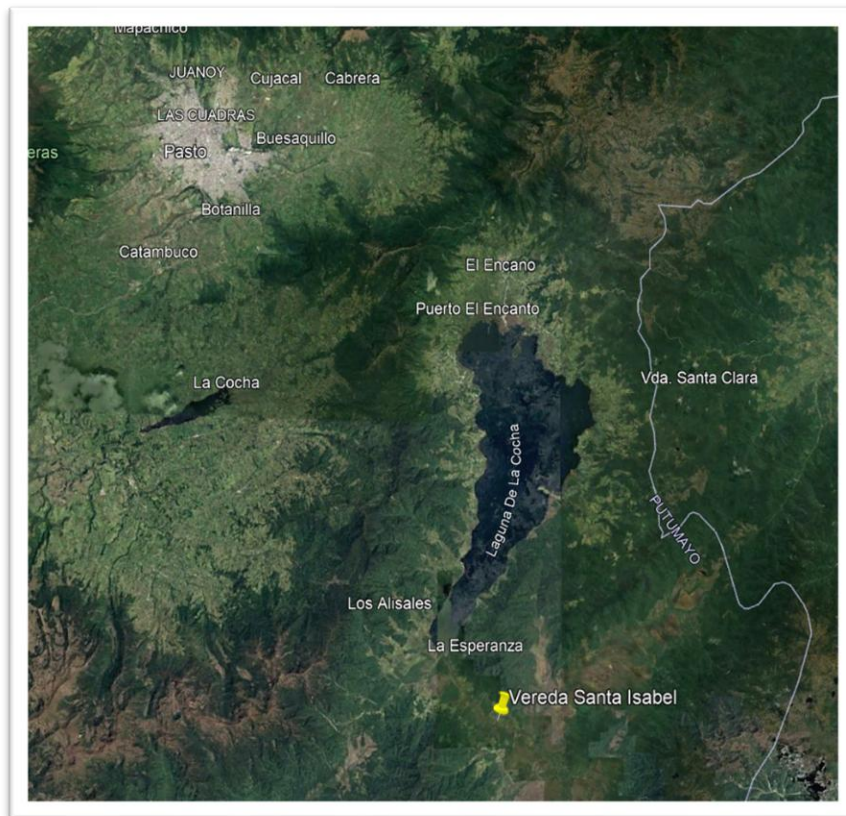


Figura 3: Ubicación de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Google Earth

2. Datos Geológicos y Geotécnicos

Para obtener información sobre la geología de la zona, se ha recurrido a las planchas publicadas por el Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia.

La geología de la Laguna de La Cocha y la Vereda Santa Isabel esta compuesta principalmente de:

- Depósitos Lacustres
- Complejo migmatítico de La Cocha - Río Tellez:
- Lavas y Cenizas

Además, la comunidad se encuentra cerca del Sistema de Fallas del Río Suaza. Este sistema tiene una dirección general de N40°E y a nivel regional sirve de contacto al Valle del Magdalena con la Cordillera Oriental. También se encuentra próxima a la Falla de Afiladores, la cual ejerce cierto control tectónico sobre La Cocha.

2.2. Riesgos Geológicos

Geográficamente, la mitad occidental de Colombia se encuentra ubicada en una de las regiones de alta sismicidad mundial, por lo que está continuamente expuesto a sufrir actividad sísmica.

Por otro lado, a pesar de la existencia de suelo de carácter arcilloso en algunas zonas próximas al estudio, los riesgos de expansividad, colapso y erosionabilidad son bajos.

Además, se encuentra en zona de amenaza volcánica media proyectada, por su cercanía al Volcán Galeras.



Figura 4: Suelo presente en la Vereda Santa Isabel. Fuente: Fotografía propia

3. Topografía y Emplazamiento del Sistema de Depuración

La Vereda Santa Isabel se encuentra en el extremo sur de la Laguna de La Cocha, a dos horas de la ciudad de Pasto. Su acceso es por la carretera Nacional N°10 hasta el corregimiento del Encano o la Vereda de El Puerto y, de allí, el transporte es en lancha atravesando la laguna.

La siguiente imagen es una modelización de las 25 casas de la comunidad, ubicadas la mayoría en la margen sur del Río Guamuez. Se observa también la escasa pendiente del terreno sobre el que se alza la comunidad, situándose todas las casas alrededor de los 2787 msnm.



Figura 5: Modelo SIG de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Elaboración Propia a partir de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

La ortofoto que se muestra a continuación presenta las 3 alternativas analizadas en la elección del emplazamiento de la futura PTAR, entre las cuales, ha sido elegida la numero 3.

De esta manera, la red de saneamiento tendría un trazado como el que se muestra a continuación y con una longitud de 1022 m:



Figura 6: Emplazamientos posibles PTAR. Fuente: Elaboración propia

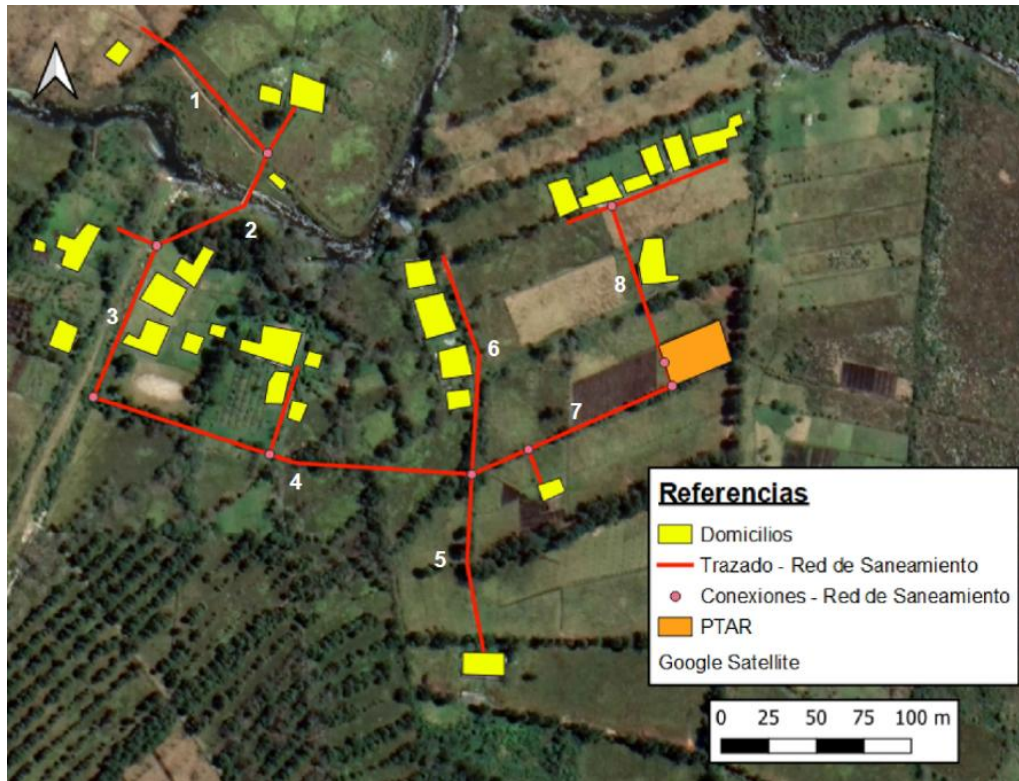


Figura 7: Trazado de la red de saneamiento. Fuente: Elaboración propia

4. Climatología

La zona de estudio se clasifica como muy fría y húmeda, sin embargo, la Vereda se encuentra en una posición particular. Se encuentra en el límite entre la región andina con la amazónica (siendo parte de esta última). Además, es una región montañosa (Los Andes).

Sus temperaturas oscilan los 13°C, sin grandes variaciones entre verano e invierno, al encontrarse prácticamente sobre la línea del Ecuador.

Sus precipitaciones rondan los 1500 mm al año.

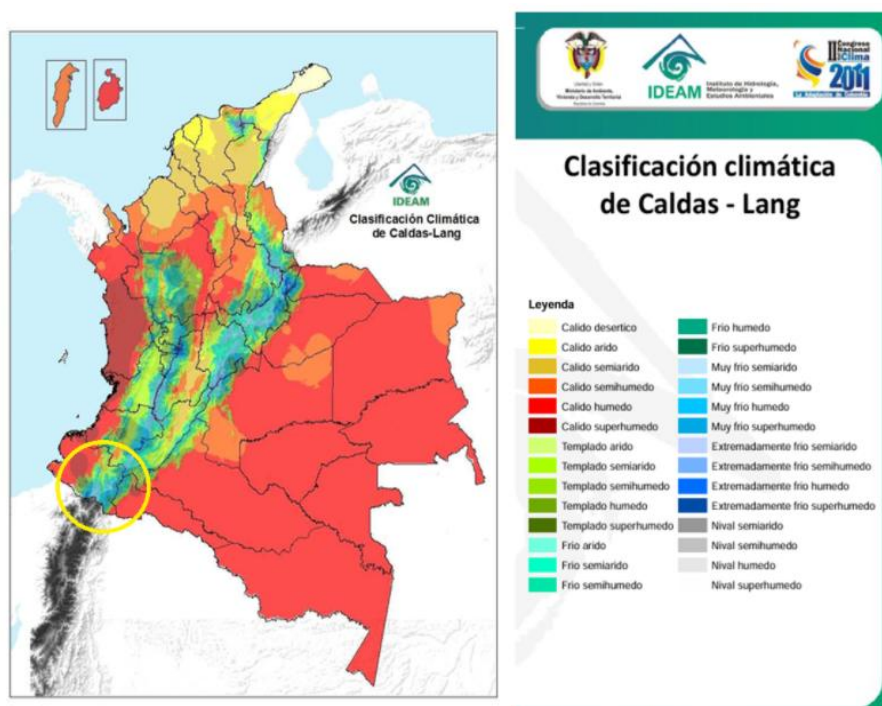


Figura 8: Clasificación Climática de Caldas-Lang. Fuente: IDEAM

5. Situación actual del abastecimiento y saneamiento en la Vereda Santa Isabel

En cuanto al abastecimiento, se cuenta con la Juntas Administradoras de Acueducto de Santa Isabel la cual abastece a las casas que se encuentran en el “núcleo urbano” de la vereda. Sin embargo, este acueducto se encuentra en mal estado, el agua llega con poca presión y en muchas ocasiones con suciedad (barro, lombrices, etc.). Algunas familias cuentan con pequeñas bombas para aumentar la presión con la que llega y poder utilizar el agua para duchas, baños, etc.

Por su parte, el saneamiento existente es prácticamente nulo. No existe sistema de alcantarillado y algunas casas tienen sistemas de pozos sépticos rudimentarios. La enorme falencia del sistema de saneamiento es lo que motiva el presente proyecto, ya que esto acarrea dos grandes problemas: los problemas de salud en la población y la contaminación del entorno.

Durante la visita a la comunidad, gran parte de los habitantes manifestaron que frecuentemente contraen enfermedades debido a la deficiente gestión de las aguas, pues estas se arrojan a los arroyos, en ocasiones estancos, y

que en la mayoría de los casos son los mismos que se usan para abastecerse de agua para diversas tareas domésticas.

Por otra parte, estos residuos están contaminando enormemente el Río Guamuez, cuyo cauce atraviesa la Vereda y el cual es afluente del Amazonas. Se recuerda que el área donde se ubica la Vereda Santa Isabel es altamente sensible, pues es parte del Humedal Ramsar La Cocha.

En relación al manejo de residuos sólidos, algunas casas reciclan una parte de sus desechos, en algunos casos se opta por enterrarlos en pozos excavados por ellos. Sin embargo, lo que predomina es la quema de estos residuos, generando alta contaminación.

Durante la visita a la vereda Santa Isabel se llevaron a cabo distintas tareas de levantamiento de información y diagnóstico inicial, orientadas a comprender de manera integral la situación actual de la comunidad y su entorno. Entre las principales actividades desarrolladas se destacan:

- Entrevistas a las familias de la comunidad, con el fin de conocer en detalle su situación socioeconómica, los hábitos de consumo de agua, la disposición de las aguas residuales y las necesidades prioritarias manifestadas.
- Generación de una ortofoto mediante dron, que permitió obtener un conocimiento actualizado y preciso de la configuración territorial de la vereda.
- Inspección de los sistemas de vertido actualmente empleados por los habitantes, identificando puntos de descarga directa y prácticas habituales de disposición de aguas residuales.
- Revisión de los sistemas de depuración caseros y rudimentarios contruidos por los propios habitantes, evaluando su funcionamiento, limitaciones y grado de impacto ambiental.
- Análisis visual del suelo de la zona, con el fin de obtener una primera aproximación a sus características y posibles condicionantes para la implantación de infraestructuras.
- Identificación y análisis de emplazamientos potenciales para la ubicación de la PTAR, considerando criterios técnicos, ambientales y de accesibilidad.

- Georreferenciación con GPS de las cocinas y baños de cada vivienda, con el objetivo de disponer de una base de datos espacial detallada para el diseño del sistema de saneamiento.
- Familiarización con la ONG promotora del proyecto, sus líneas de actuación y proyectos en la zona, así como con la situación actual del humedal Ramsar La Cocha, espacio natural de gran relevancia ambiental y receptor indirecto de las descargas de la comunidad.

6. Datos de diseño y dimensionamiento del sistema de depuración y la red de saneamiento

La población para la Vereda de Santa Isabel para el año horizonte es de $P_t = 123$ personas

Los caudales a considerar son los siguientes:

Caudal Medio Diario	0,1089 L/s
Caudal Máximo Horario	0,414 L/s
Caudal de Infiltración	0,1022 L/s

Figura 9: Caudales del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, para el diseño se debe considerar que:

- Para el pretratamiento y el tratamiento primario el caudal de diseño resultará de la suma del Caudal Máximo Horario y el Caudal de Infiltración.
- Para el tratamiento secundario (Humedal Artificial), el caudal de diseño será la suma del Caudal Medio Diario y el Caudal de Infiltración.
- Para la red de saneamiento será la suma del Caudal Medio Diario y el Caudal de Infiltración. Sin embargo, si la suma de estos es menor a 1,5 L/s, se adoptará este valor.

Por lo que el diseño se realiza con los siguientes valores:

	0,516 L/s

Caudal de Diseño (Pretratamiento y Tratamiento Primario)	0,000516 m ³ /s
	0,031 m ³ /min
	1,86 m ³ /h
	44,59 m ³ /d
Caudal de Diseño (Humedal Artificial)	0,211 L/s
	0,000211 m ³ /s
	0,0123 m ³ /min
	0,76 m ³ /h
	18,24 m ³ /d
Caudal de Diseño (Red de Saneamiento)	1,5 L/s
	0,0015 m ³ /s
	0,09 m ³ /min
	5,4 m ³ /h
	129,6 m ³ /d

Figura 10: Caudales de diseño. Fuente: Elaboración propia

Contaminante	Población (hab.)	Q _{med} (m ³ /día)	Concentración (mg/L)
DBO ₅	123	18,24	405
DQO			809
SS			472
NTK			74
P _T			12

Figura 11: Concentración de contaminantes. Fuente: Elaboración propia

Según la resolución 631/2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia por la cual se establecen los parámetros y los valores

límites máximos permisibles en los vertidos puntuales a cuerpos de aguas superficiales:

Parámetro	Valor Máximo
DBO5	90 mg/L
DQO	180 mg/L
SS	90 mg/L
pH	6-9

Figura 12: Valores límite de vertido. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del MinAmbiente

7. Dimensionamiento de la Estación Depuradora

La obra tendrá el siguiente esquema de funcionamiento:

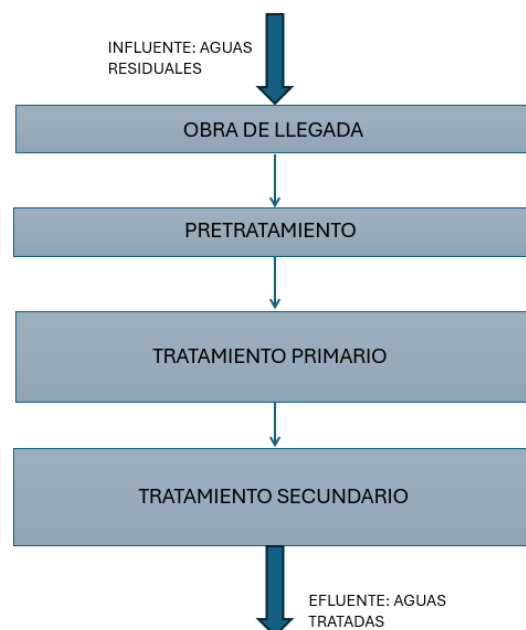
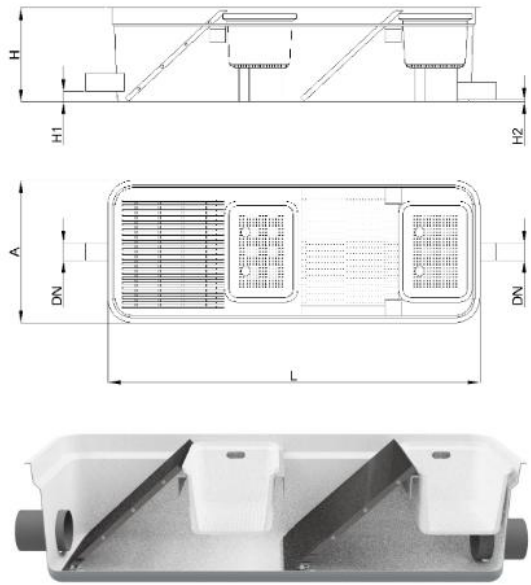


Figura 13: Esquema de funcionamiento de la estación depuradora. Fuente: Elaboración propia

Tanto el pretratamiento como el tratamiento primario serán prefabricados consistiendo el primero, en un canal dotado de rejillas de desbaste de gruesos y finos y el segundo, dos tanques Imhoff de 7500L para poder alternar su uso mientras se realiza la extracción de fangos en uno de ellos para mantener la planta operativa.

Especificaciones Técnicas



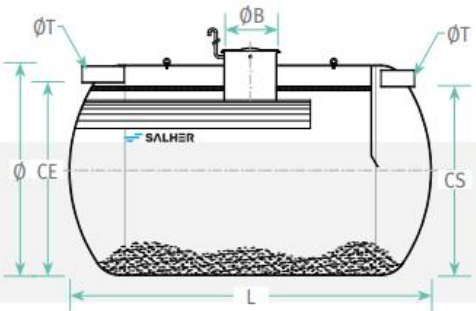
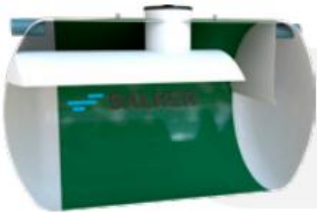
Dimensiones1

L (mm): 2538
A (mm): 880
H (mm): 580
H1 (mm): 65
H2 (mm): 10
DN (mm): 110
Peso (kg): 40

Figura 14: Pretratamiento prefabricado ACO REMOSA. Fuente: ACO REMOSA

Características:

- Marca Salher modelo CHC-IMH.
- Equipo fabricado en PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) con resinas ortoftálicas según norma UNE-EN-12255-1
- Rendimiento de eliminación de sólidos en suspensión: 70 - 75 % mes.
- Rendimiento de eliminación de materia orgánica: 35 - 40 % DBO5.
- Pantalla deflectora longitudinal.
- Cámaras de decantación, digestión y separación de flotantes.
- Tubuladuras de entrada y salida en PVC.
- Acceso, para operaciones de limpieza por medio de gestor autorizado, a través de boca de registro con tapa en PRFV.
- Toma en boca de registro para instalación de tubo de ventilación.



HAB/ EQV	CAPACIDAD [LITROS]	Ø [MM]	LONG. [MM]	Ø BOCA [MM]	Ø TUBERÍA [MM]	CE [MM]	CS [MM]
50	7.500	2.000	2.790	620	160	1.840	1.790

Figura 15: Tanque Imhoff prefabricado SALHER. Fuente: SALHER

Una vez extraídos los fangos se envían a Eras de Secado, los cuales, ya deshidratados, se utilizarán para fines agrícolas de los propios habitantes de la comunidad.

Por último, el tratamiento secundario consistirá en un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Las dimensiones del humedal serán las siguientes:

- Altura del estrato filtrante: 0,4 m
- Ancho del humedal: 8 m
- Longitud: 26 m
- Pendiente del fondo: 1%

El estrato filtrante estará compuesto por gravas finas. Además, el humedal se colonizará mediante plantación de macrófitas.

El esquema de depuración resulta de esta manera:

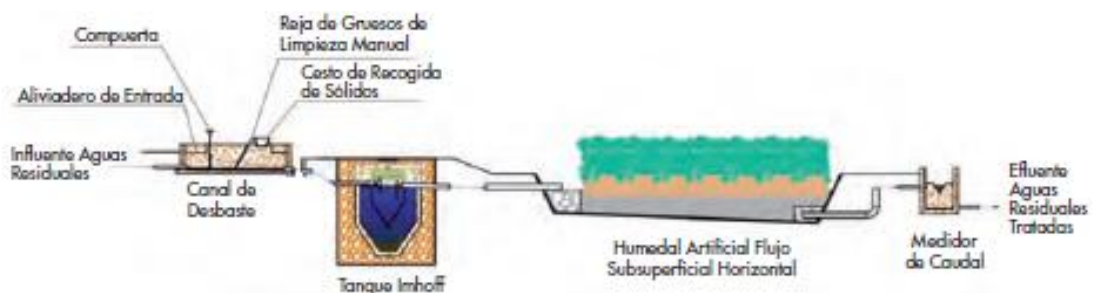


Figura 16: Esquema de depuración. Fuente: CEDEX

8. Impacto Ambiental

8.1. Impactos negativos y positivos

Los impactos negativos que genera la ejecución y explotación de la obra civil se desarrollan en el anejo N°9: Estudio Ambiental, Impacto y Afecciones. Sin embargo, se listan los más importantes:

- Afectación del suelo
- Contaminación de cuerpos de agua superficiales durante la construcción de la obra en caso de arrastre de materiales durante lluvias
- Alteración del nivel freático y riesgo de infiltración.

- Pérdida de cobertura vegetal
- Perturbación de la fauna silvestre
- Emisión de polvo y gases contaminantes
- Ruido
- Interferencia social y posibles molestias a la comunidad por la llegada de personal externo para ejecución de las obras
- Generación de residuos sólidos de construcción
- Generación de lodos biológicos
- Emisión de olores molestos
- Obstrucciones o reboses por mal mantenimiento contaminando las aguas subterráneas y superficiales
- Impacto visual

Por su parte, los impactos positivos esperables a partir de la implantación de la estación depuradora son:

- Mejora de la calidad del agua en cuerpos receptores
- Protección de la biodiversidad acuática y terrestre
- Reducción de riesgos sanitarios para la comunidad
- Recuperación paisajística a través del humedal artificial
- Fortalecimiento de la cultura ambiental y la gestión comunitaria
- Cumplimiento normativo y acceso a recursos institucionales
- Conservación de un entorno protegido
- Revalorización del territorio y del espacio rural

8.2. Medidas mitigadoras

8.2.1. En fase de construcción

Preventivas:

- Plan de manejo de suelos
- Control de escorrentía
- Programa de manejo de residuos
- Socialización del proyecto con la comunidad

Correctoras:

- Revegetación de áreas intervenidas
- Control de polvo
- Reducción de ruido
- Gestión de lodos de excavación

Compensatorias:

- Reforestación
- Fortalecimiento de capacidades locales mediante capacitación y empleo de mano de obra local
- Mejora de infraestructura comunitaria

8.2.2. En fase de operación

Preventivas:

- Programa de mantenimiento rutinario
- Monitoreo de la calidad del efluente
- Control de olores (revisión periódica del pretratamiento y tanques Imhoff)
- Gestión segura de lodos
- Capacitación del personal

Correctoras:

- Restauración de áreas alteradas
- Control de vectores y fauna

Compensatorias:

- Reforestación
- Programa de educación ambiental comunitaria
- Reutilización del agua (si técnicamente viable)

9. Gestión de Residuos

La gestión adecuada de los residuos generados en el proyecto de construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es clave para prevenir impactos negativos sobre el suelo, el agua, el aire, la salud humana y la biodiversidad circundante.

De acuerdo con la normativa, los residuos sólidos se clasifican en:

- Residuos no peligrosos: cartón, papel, orgánicos, etc.
- Residuos peligrosos (RESPEL): aquellos corrosivos, reactivos, explosivos, que puedan causar daño en la salud humana o del ambiente (por ejemplo, hidrocarburos, aceites, grasas, tintas, resinas, etc.)

- Residuos de construcción y demolición (RCD): materiales pétreos de excavación, tierras, limos, coberturas vegetales, arcillas, etc. También aquellos no pétreos como aceros, aluminio, restos de PVC.

Según el Plan de Gestión de Residuos, hay que identificarlos y clasificarlos durante y después de la ejecución de las obras.

Se debe, además, asignar un responsable competente en el área de medio ambiente. Cuando aplique, se deben incorporar las recomendaciones descritas en las guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos, las cuales han sido expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.

Se debe sensibilizar y capacitar a los trabajadores sobre los peligros y manejo de estos, con énfasis en la gestión y manejo de RCD y REPSEL.

Por último, se debe adoptar un plan de contingencia para atender cualquier accidente o eventualidad relacionada con el manejo de residuos peligrosos.

10. Control de Calidad

El objetivo del Plan de Control de Calidad es garantizar que todas las etapas de la obra, los materiales, equipos e instalaciones cumplan con los estándares de calidad exigidos por la normativa colombiana vigente y por las especificaciones técnicas del proyecto. Dado que el proyecto se ejecuta en Colombia, se adoptarán como referencia principal las normativas técnicas colombianas aplicables, y en su defecto, normas internacionales ISO, ASTM u otras equivalentes de reconocida aplicación. En todo momento se asegurará el cumplimiento de los requisitos legales locales y las exigencias de los organismos de control competentes, incluyendo las autoridades ambientales regionales y la interventoría técnica de la obra.

En el Plan de Control de Calidad se consideran los siguientes puntos:

- Planificación de la Calidad: se definen criterios de aceptación y métodos de control para cada actividad de la obra antes de su ejecución.
- Prevención de No Conformidades
- Documentación y Rastreabilidad
- Mejora Continua

- Definición de Responsabilidades

Se controlará la calidad de:

- Materiales
 - Hormigón y morteros
 - Acero para armaduras
 - Tuberías de PVC
 - Geomembrana impermeabilizante (Humedal Artificial)
- Actuaciones
 - Movimiento de tierras
 - Procesos constructivos como hormigonado, colocación de tuberías, acabados y detalles,
 - Equipos e Instalaciones
- Calidad del agua tratada
- Control de seguridad y salud
- Control ambiental

11. Explotación y Mantenimiento

Para la explotación y mantenimiento se debe contar con un operario responsable, el cual debe ser capacitado para poder llevar a cabo las tareas mencionadas a continuación:

- Conservar la planta perfectamente aseada y ordenada
- Establecer un programa rutinario de inspección
- Observar las medidas de seguridad

De manera más específica:

- Explotación y mantenimiento del pretratamiento
 - Limpieza de las rejillas de desbaste de gruesos y finos
 - Inspección frecuente durante épocas lluviosas o con condiciones meteorológicas adversas
 - Extracción de sedimentaciones en el fondo del canal
- Explotación y mantenimiento de los Tanques Imhoff
 - Comprobación de estanqueidad de los tanques para evitar la contaminación de aguas subterráneas (1 vez al año)
 - Correcto llenado de los tanques
 - Comprobación de rendimientos de depuración previstos

- Comprobación del aspecto de las aguas influentes y de los efluentes.
- Anomalías generales
- Dos veces al año se medirán los espesores de las capas de flotantes y de lodos acumulados en la zona de digestión
- Dos veces al año se extraerán los lodos y flotantes acumulados para ser enviados a las eras de secado.
- Explotación y mantenimiento del Humedal Artificial
 - Comprobación de estanqueidad del recinto que contiene el lecho filtrante para evitar la contaminación de las aguas subterráneas
 - Se inspeccionará al menos una vez por semana el aspecto de las aguas influentes y efluentes, los sistemas de alimentación/distribución
 - Durante los primeros meses de operación deben eliminarse las malas hierbas que puedan competir con la vegetación implantada en el humedal.
 - Anualmente, una vez finalizado el ciclo vegetativo de las plantas se procederá a su siega y evacuación de la biomasa vegetal extraída.
 - Al realizar la siega, se medirá la permeabilidad del sustrato filtrante, para determinar su grado de colmatación
 - Se controlará la aparición de posibles plagas y animales
 - Se deben registrar las averías sufridas
- Explotación y mantenimiento de las eras de secado
 - Se alimentarán de forma que la capa de lodos a secar presente espesores de 25-30 cm.
 - Los lodos secos se extraerán con ayuda de palas para ser almacenados o utilizados con fines agrícolas.
 - Los lodos podrán permanecer en los lechos de secado hasta 30 días.
 - Reponer la arena adherida a los lodos cada cierto tiempo

Para la explotación y mantenimiento se debe contar con los siguientes elementos de seguridad y salud

- Guantes
- Botas de goma impermeables
- Prendas de ropa de trabajo

- Caja de herramientas
- Horqueta
- Azada
- Pala
- Rastrillo
- Paños
- Desinfectantes y jabones

12. Plan de Obra

La obra tiene una duración estimada de 12 meses.

Las actividades a realizar y su tiempo de ejecución estimado se encuentran representadas en el siguiente diagrama de Gantt.

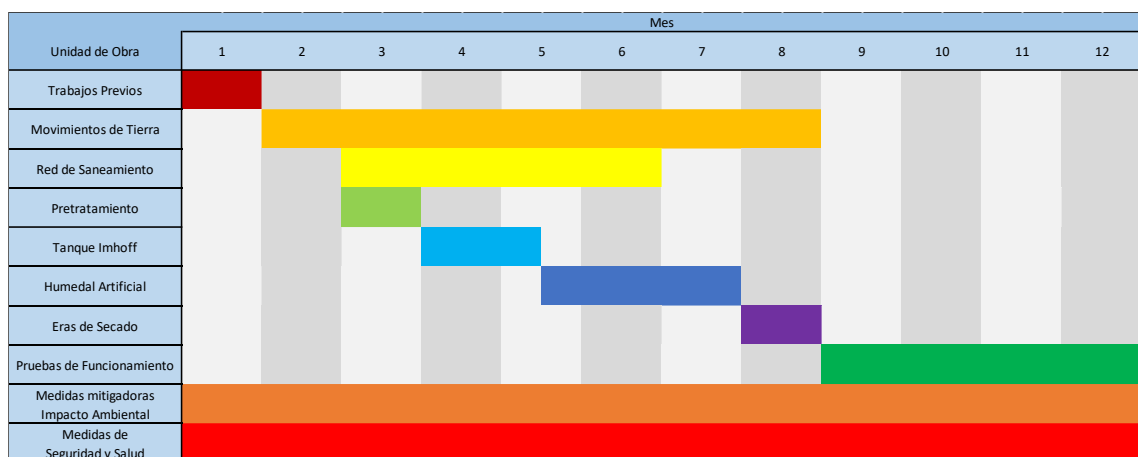


Figura 17 Diagrama de Gantt - Plan de Obra

13. Seguridad y Salud

En el anejo N°15: Seguridad y Salud se describen detalladamente los riesgos potenciales de la obra y sus medidas mitigadoras. Se listan aquí, los más importantes:

- Desbroce del terreno
 - Cortes con cuchilla
 - Proyección de astillas o fragmentos
 - Picaduras de insectos o animales
- Movimientos de tierra
 - Atrapamiento
 - Vuelco de equipos en terreno irregular

- Derrumbe de taludes de zanjas
 - Caídas a zanjas
 - Proyección de partículas
- Pretratamiento
 - Aplastamiento por caída de materiales mal asegurados
 - Contacto con superficies húmedas o resbaladizas
 - Vuelco de equipos en terreno irregular
 - Caída de materiales o herramientas que puedan golpear a los trabajadores
 - Riesgos biológicos al tratar con aguas residuales
- Tanque Imhoff
 - Caídas a distinto nivel en excavaciones profundas
 - Atmósferas peligrosas
 - Posibilidad de inundación repentina
 - Riesgos químicos y biológicos
 - Atrapamiento
- Humedal Artificial
 - Cortes al manipular la geomembrana, piedras o grava
 - Picaduras de insecto
 - Vuelco de equipos en terreno irregular
 - Riesgos químicos y biológicos
- Red de Saneamiento
 - Cortes al manipular tuberías
 - Vuelco de equipos en terreno irregular
 - Exposición a gases o líquidos residuales estancados
- Vallado perimetral
 - Caída de postes
 - Rebote de alambre tenso al cortar o tensar malla

Las medidas preventivas a considerar son, en general, las siguientes:

- Sistemas anticaídas individuales (arnés)
- Orden y limpieza
- Vigilancia y comunicación
- Mantenimiento de equipos y verificaciones diarias
- Zonas de trabajo delimitadas
- Capacitación de los operadores
- Medidas contra ruido y vibraciones
- Control de exposición a agentes químicos

- Equipos de Protección Individual

Se utilizará la señalización con los colores y geometrías normativas:



Figura 18: Señalización de obra. Fuente: Google

Se deben disponer además, recursos y equipos de emergencias disponibles en caso de eventos no esperados:

- Botiquines de primeros auxilios
- Extintores portátiles
- Camilla o tabla rígida para movilizar heridos

14. Presupuesto y justificación de precios

Para la obtención del presupuesto se ha seguido la siguiente metodología

Se comienza por las mediciones de las diferentes unidades de obra, se ha decidido agrupar estas mediciones, agrupándolas en 4 capítulos.

Una vez obtenidas y explicadas las mediciones se expone el cuadro de precios. En él se explica el precio unitario para cada medición en cada unidad de obra.

Luego, realizando las multiplicaciones pertinentes, se obtiene el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), sumando los gastos indirectos del 6%.

Por último, se añaden los siguientes conceptos al PEM:

- Gastos generales: 13%
- Beneficio Industrial: 6%
- IVA en Colombia para obras de construcción: 19%

El PEM, desglosado por capítulos, es el siguiente:

PARTIDA CAPÍTULO 1	COP \$	EUR €
VALLADO PERIMETRAL	4.642.350,00	986,06
DESBROCE	12.747.500,00	2.707,63
INSTALACIÓN RED TELEFÓNICA PROVISIONAL	355.446,00	75,50
RETIRO DE SOBANTES	3.035.750,00	644,81
COSTES INDIRECTOS (6%)	1.246.862,76	264,84
TOTAL	22.027.908,76	4.678,83

Figura 19: Resumen Capítulo 1

PARTIDA CAPÍTULO 2	COP \$	EUR €
EXCAVACIONES. HUMEDAL ARTIFICIAL	2.648.398,17	562,53
EXCAVACIONES. ZANJAS	40.150.521,54	8.528,15
RELLENOS. ZANJAS	56.299.433,39	11.958,25
RELLENOS. HUMEDAL ARTIFICIAL	28.309.651,20	6.013,09
RELLENOS. ERAS DE SECADO	15.468.607,35	3.285,60
COSTES INDIRECTOS (6%)	8.572.596,70	1.820,86
TOTAL	151.449.208,35	32.168,48

Figura 20: Resumen Capítulo 2

PARTIDA CAPÍTULO 3	COP \$	EUR €
INSTALACIÓN TUBERÍAS	65.897.538,00	13.996,93
POZOS DE REGISTRO	7.969.392,00	1.692,73
COSTES INDIRECTOS (6%)	4.432.015,80	941,38
TOTAL	78.298.945,80	16.631,04

Figura 21: Resumen Capítulo 3

PARTIDA CAPÍTULO 4	COP \$	EUR €
INSTALACIÓN PRETRATAMIENTO	18.864.410,04	4.046,42
INSTALACIÓN TANQUES IMHOFF	74.294.098,20	15.780,39
INSTALACIÓN GEOMEMBRANA HUMEDAL ARTIFICIAL	6.096.384,00	1.294,90
INSTALACIÓN CONDUCCIONES HUMEDAL ARTIFICIAL	967.185,00	205,43
EJECUCIÓN ERAS DE SECADO	13.949.533,16	2.962,94
COSTES INDIRECTOS (6%)	6.850.296,62	1.457,41
TOTAL	121.021.907,03	25.747,50

Figura 22: Resumen Capítulo 4

Así, el Presupuesto de Ejecución Material resulta:

	<u>COP \$</u>	<u>EUR €</u>
TOTAL PEM	372.797.969,94	79.225,84

Figura 23: Resumen Presupuesto de Ejecución Material

Por último, el Presupuesto Base de Licitación:

	<u>COP\$</u>	<u>EUR €</u>
PEM	372.797.969,94	79.225,84
13% GASTOS GENERALES	48.463.736,09	10.299,36
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	22.367.878,20	4.753,55
TOTAL SIN IVA	443.629.584,22	94.278,75
TOTAL	527.919.205,23	112.191,72

Figura 24: Presupuesto Base de Licitación

El Presupuesto Base de Licitación asciende a QUINIENTOS VIENTISIETE MILLONES NOVECIENTOS DIECINUEVE MIL DOSCIENTOS CINCO PESOS COLOMBIANOS (COP \$) CON VEINTITRES CENTAVOS

15. Referencias

Las fuentes y referencias quedan recogidas de forma detallada en cada anejo del presente documento.

16. Disposición final

Con toda la documentación recogida en el proyecto, doy por finalizada la redacción del mismo.

Madrid, septiembre de 2025

El autor del proyecto



Fdo. Pedro Michélini Mufatto

ANEJO N°1: ANTECEDENTES

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Motivación	4
3. Fundación Ayuda en Acción	5
4. Fundación José Entrecanales Ibarra	6
5. Definición del Contexto.....	7
5.1. Colombia	7
5.1.1. Geografía	7
5.1.2. Aspectos Poblacionales.....	9
5.1.3. Aspectos Económicos.....	11
5.2. Laguna de La Cocha	12
5.3. Vereda Santa Isabel	13
6. Referencias.....	14

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU	4
Figura 2: Mapa Colombia. Fuente: Google	8
Figura 3: Pirámide Poblacional Colombia. Fuente: DANE	9
Figura 4: Evolución PIB Colombia. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE.....	11
Figura 5: Evolución PIB Nariño. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE	12

1. Objeto

El objeto de este anejo es el de explicar el contexto en el que se desarrolla el proyecto y de Colombia en general, su motivación y su alcance.

2. Motivación

El presente proyecto se clasifica como una iniciativa de Cooperación Internacional al Desarrollo Sostenible, impulsada por la Fundación Ayuda en Acción Colombia y la Universidad Politécnica de Madrid, con el apoyo económico de la Fundación José Entrecanales Ibarra para el viaje a la zona de estudio.

el objetivo es elaborar el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la vereda Santa Isabel, ubicada en la desembocadura de la laguna (rio Guamuez), este sistema deberá evitar el vertido de aguas residuales generadas por las 25 familias que habitan la vereda y que buscan mediante alternativas de producción agroecológica de alimentos y el turismo sostenible, una alternativa respetuosa con el medio ambiente que permita la generación de ingresos sin deteriorar el bosque y contaminar los recursos hídricos de este ecosistema perteneciente a la Amazonía Colombiana.

Este proyecto, por tanto, tiene como propósito contribuir al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N°6 Agua y Saneamiento e, indirectamente, de los ODS N°3 Salud y bienestar, N°13: Acción por el Clima y N°11: Ciudades Comunidades Sostenibles, en el marco de la Agenda 2030.



Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: ONU

3. Fundación Ayuda en Acción

Ayuda en Acción es una organización no gubernamental de cooperación internacional fundada en 1981 en España, con el objetivo de luchar contra la pobreza, la desigualdad y la exclusión social, tanto en países en desarrollo.

Su misión principal es mejorar las condiciones de vida de las personas más vulnerables, especialmente la infancia, mediante programas sostenibles que fomentan la educación, la equidad de género, la seguridad alimentaria, el desarrollo económico y la resiliencia frente al cambio climático.

La organización trabaja en más de 20 países de América Latina, África, Asia y Europa y sus principales áreas de intervención son:

- Educación de calidad mediante programas para garantizar el acceso a la educación, reducir la deserción escolar y mejorar infraestructuras educativas.
- Igualdad de género implementando iniciativas para empoderar a las mujeres, prevenir la violencia de género y fomentar su autonomía económica.
- Medios de vida sostenibles, dando apoyo a la economía familiar y comunitaria mediante agricultura sostenible, acceso a microcréditos y formación laboral.
- Adaptación al cambio climático impulsando proyectos de reforestación, gestión del agua y prácticas agrícolas resilientes.
- Emergencias humanitarias, dando respuesta rápida a desastres naturales, crisis alimentarias y conflictos armados.
- Tecnología para el desarrollo con programas de inclusión digital en zonas rurales y herramientas tecnológicas para fortalecer comunidades.

La organización comenzó a operar en Colombia en 2013, desarrollando proyectos de inclusión socioeconómica, educación y emprendimiento para comunidades vulnerables

Su estrategia de intervención se basa en el modelo de Áreas de Desarrollo Territorial, que implica procesos sostenibles de largo plazo, entre 12 y 15 años, con enfoque territorial, participación comunitaria y fortalecimiento institucional. El objetivo es promover cambios estructurales duraderos que permitan superar la pobreza y la exclusión social.

En Colombia, la organización trabaja en varias regiones, pero tiene una actuación destacada en el departamento de Nariño, uno de los territorios históricamente más afectados por el conflicto armado, el abandono institucional y las economías ilícitas.

La oficina Regional Nariño de Fundación Ayuda en Acción Colombia está trabajando desde el año 2021 con organizaciones de la sociedad civil, universidades, empresarios del sector turismo, gobierno y comunidades para identificar causas y posibles soluciones a las problemáticas que afronta el ecosistema Humedal Ramsar la Cocha (el cual se describe más adelante), ubicado en el municipio de Pasto y que está afectando a 18 veredas representadas por comunidades indígenas y campesinas.

El pasado junio de 2023 Ayuda en Acción hizo parte del equipo organizador del congreso “Salvemos el Humedal Ramsar la Cocha” donde participaron el Ministerio del Medio Ambiente, la Corporación Autónoma Regional, CORPONARIÑO, Gobernación de Nariño, Alcaldía de Pasto, representantes de las reservas de la sociedad civil, delegados de la comunidad indígena y Universidades expusieron diagnósticos sobre la principales causas que están deteriorando este complejo eco sistémico, las principales se refieren a la tala del bosque nativo para la producción de carbón, la ampliación de la frontera agrícola, la sobre producción de trucha en el cuerpo de agua de la Cocha y el vertimiento directo de las aguas residuales a la laguna y afluentes que alimentan el cuerpo de agua.

4. Fundación José Entrecanales Ibarra

La Fundación José Entrecanales Ibarra (FJEI) es una institución cultural y docente vinculada a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, así como a la familia Entrecanales Ibarra. Su objetivo principal es promover la excelencia en la ingeniería civil, fomentando tanto la investigación científica y técnica como la difusión de los valores que históricamente han definido a la profesión. En este sentido, la fundación no se limita a la organización de premios y actividades académicas, sino que también ha consolidado un programa de cooperación internacional de gran relevancia.

A través de dicho programa, la fundación financia proyectos de infraestructuras civiles en países en vías de desarrollo, en colaboración con organizaciones no gubernamentales y comunidades locales. Estos proyectos

se centran en áreas prioritarias para la mejora de la calidad de vida, como son el abastecimiento y tratamiento de agua, los sistemas de saneamiento, pero también el desarrollo urbano sostenible y otras actuaciones ligadas al bienestar social y al desarrollo económico de las comunidades receptoras.

Bajo este programa, la fundación brindó su apoyo para financiar las visitas realizadas a la localidad de estudio.

Sin este apoyo habría sido imposible la redacción del presente proyecto.

5. Definición del Contexto

5.1. Colombia

5.1.1. Geografía

Colombia es un país situado en el extremo noroccidental de América del Sur, con una superficie de 1.141.748 km², lo que lo convierte en el cuarto país más grande del continente. Limita al norte con el mar Caribe, al este con Venezuela y Brasil, al sur con Perú y Ecuador, y al oeste con Panamá y el océano Pacífico. Esta ubicación le otorga una posición geoestratégica privilegiada, siendo el único país sudamericano con costas sobre los dos océanos principales.

El territorio colombiano presenta una gran variedad de formas de relieve, producto de su compleja geología. El rasgo dominante es la cordillera de los Andes, que al ingresar al país desde el sur se divide en tres ramales: Cordillera Occidental, Central y Oriental, generando una orografía fragmentada con numerosas cuencas, valles y altiplanos interandinos.

A partir de este patrón montañoso se configuran cinco grandes regiones naturales:



Figura 2: Mapa Colombia. Fuente: Google

- Región Andina: la más densamente poblada, con ciudades principales como Bogotá, Medellín y Cali. Alberga tierras altas fértiles, numerosos ríos y alta actividad sísmica y volcánica.
- Región Caribe: ubicada al norte, incluye costas, llanuras costeras, y la Sierra Nevada de Santa Marta, el sistema montañoso litoral más alto del mundo.
- Región Pacífica: caracterizada por su clima húmedo tropical extremo, selvas lluviosas y baja densidad poblacional. Tiene uno de los mayores niveles de precipitación del planeta.
- Región Orinoquía (Llanos orientales): conformada por vastas planicies, es una región agrícola y ganadera, con creciente expansión de monocultivos y actividades extractivas.
- Región Amazónica: extensa, boscosa y de baja densidad poblacional, constituye un área clave para la biodiversidad global y el equilibrio climático.

A estas se añade el territorio insular, con islas en el Caribe (San Andrés y Providencia) y el Pacífico (Gorgona y Malpelo).

Colombia posee una amplia red hidrográfica que drena hacia cinco grandes vertientes: Caribe, Pacífico, Orinoco, Amazonas y Catatumbo. Sus principales ríos son el Magdalena, el Cauca, el Putumayo, el Guaviare, el Meta y el Atrato. Muchos de estos ríos son esenciales para el abastecimiento humano, el transporte fluvial y la generación hidroeléctrica, pero también están expuestos a altos niveles de contaminación.

5.1.2. Aspectos Poblacionales

Colombia cuenta con una población estimada en 52 millones de habitantes, lo que la convierte en el tercer país más poblado de América Latina, después de Brasil y México. Sin embargo, su distribución territorial es altamente desigual, tanto en términos demográficos como socioeconómicos, lo cual tiene implicaciones directas sobre la planificación de infraestructuras básicas, como los sistemas de agua potable y saneamiento.

La pirámide poblacional muestra un gran porcentaje de población joven. Sin embargo, la tasa de fecundidad se ha visto reducida en los últimos años, lo que puede generar problemas en un futuro.

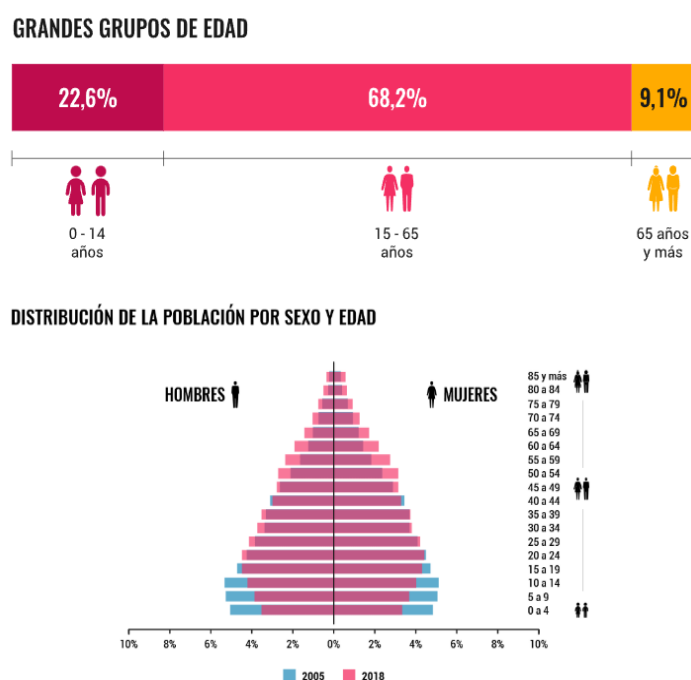


Figura 3: Pirámide Poblacional Colombia. Fuente: DANE

Por su parte, se menciona que más del 75 % de la población colombiana reside en áreas urbanas, mientras que el restante 25 % habita en zonas rurales, que representan cerca del 94 % del territorio nacional. Esta marcada concentración urbana se refleja en el crecimiento de ciudades intermedias y grandes áreas metropolitanas, mientras que muchas zonas rurales presentan baja densidad poblacional, aislamiento geográfico, y dificultades de acceso a servicios básicos.

Las regiones rurales también muestran tasas de pobreza más elevadas, mayor informalidad laboral y limitadas oportunidades educativas y sanitarias. En estas zonas, los niveles de cobertura en servicios de saneamiento básico y tratamiento de aguas residuales son críticos, siendo común la existencia de viviendas sin acceso a soluciones tecnológicas adecuadas ni acompañamiento institucional.

En el ámbito rural, los hogares suelen ser más numerosos que en las ciudades, con un promedio de 4 a 5 personas por domicilio, y con una alta proporción de población infantil y adulta mayor. Esta estructura tiene implicaciones técnicas sobre el cálculo de caudales de aguas residuales, la selección de tecnologías apropiadas y la planificación de infraestructuras comunitarias.

Además, en muchas comunidades rurales, los procesos de gestión del agua y del saneamiento recaen sobre organizaciones comunitarias, como juntas de acción comunal o comités de agua, cuya capacidad técnica y administrativa puede ser limitada.

Por otro lado, Colombia ha sido receptora de flujos migratorios externos, principalmente desde Venezuela, lo que ha generado presiones adicionales

sobre los sistemas de servicios públicos, especialmente en zonas fronterizas y municipios con débil capacidad institucional.

5.1.3. Aspectos Económicos

Colombia es la cuarta economía más grande de América Latina, después de Brasil, México y Argentina, con un PIB nominal cercano a los 320.000 millones de dólares.

El siguiente gráfico, muestra la evolución del PIB en las últimas dos décadas, expresado en miles de millones de pesos colombianos.

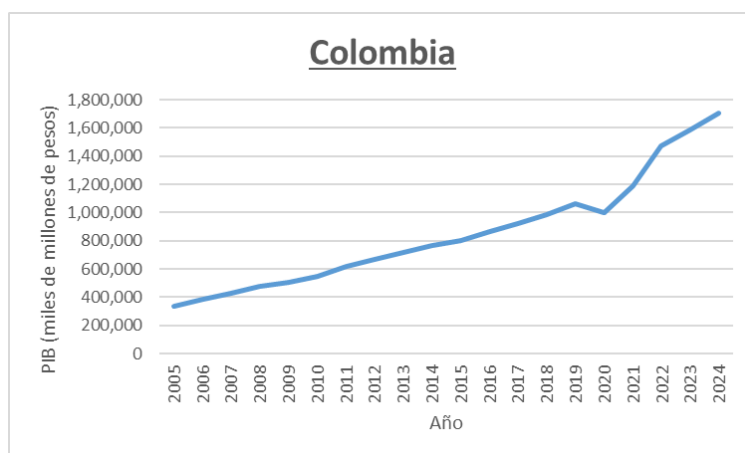


Figura 4: Evolución PIB Colombia. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE

Su economía está basada en sectores tradicionales como la agricultura, la minería y los hidrocarburos, pero con un peso creciente de los servicios financieros, el comercio y las tecnologías de la información.

Sin embargo, esta estructura económica se caracteriza por una fuerte concentración territorial, con altos niveles de productividad en centros urbanos e industriales, y una marcada desigualdad en las zonas rurales, que se traduce en pobreza estructural y baja inversión pública.

Las regiones periféricas, como el suroesteandino donde se encuentra el departamento de Nariño, presentan niveles significativamente más bajos de

ingreso per cápita, mayores tasas de informalidad laboral, y una elevada dependencia de economías agrícolas de subsistencia.

De manera similar al anterior, se aprecia el siguiente gráfico, donde se observa que el Departamento de Nariño ha crecido a un ritmo similar al del país en su conjunto.

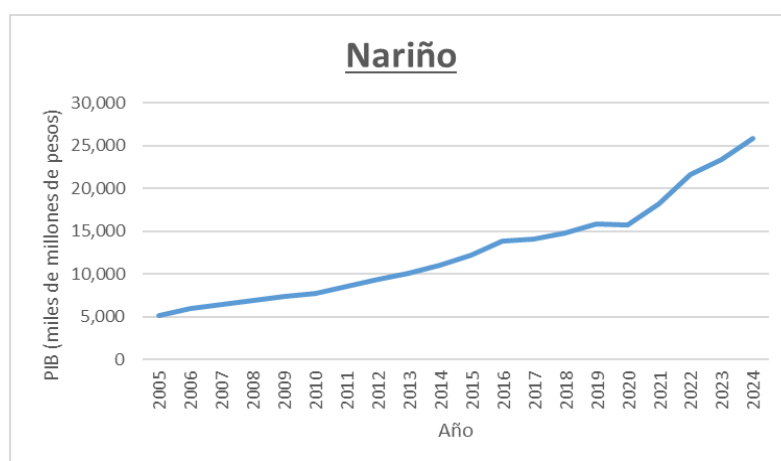


Figura 5: Evolución PIB Nariño. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE

Según el DANE, para 2022 el índice de pobreza multidimensional en zonas rurales alcanzaba el 29,5 %, frente al 12,2 % en zonas urbanas. Esta brecha se refleja también en el limitado acceso a servicios esenciales como saneamiento básico, agua potable, educación y salud.

En particular, en departamentos como Nariño, la economía rural se sostiene mayoritariamente sobre pequeños productores agropecuarios, con baja tecnificación, poco acceso al crédito y escasa infraestructura logística. La dependencia de monocultivos o de economías ilícitas (como los cultivos de uso ilícito en ciertas zonas de montaña y selva) también ha generado dinámicas de exclusión social y fragilidad institucional.

5.2. Laguna de La Cocha

La Laguna de La Cocha, también conocida como Lago Guamuez, constituye uno de los ecosistemas lacustres más importantes de Colombia. Está situada en el corregimiento de El Encano, al sureste del municipio de Pasto, en el departamento de Nariño, a una altitud promedio de 2.680 metros sobre el nivel del mar. Con una superficie aproximada de 39,2 km², es el segundo

cuerpo de agua natural más grande del país, solo superado por el lago de Tota.

Este ecosistema ha sido reconocido como Humedal de Importancia Internacional Ramsar desde el año 2000, debido a su elevada biodiversidad, su función como regulador hídrico y su importancia para las comunidades locales. De ella nace el río Guamuez, el cual forma parte de la cuenca del río Putumayo, contribuyendo a los sistemas fluviales que desembocan en la cuenca amazónica.

La Cocha está rodeada por ecosistemas altoandinos, entre ellos los conocidos páramos azonales los cuales albergan especies de flora y fauna de gran valor ecológico, incluyendo frailejones, helechos, orquídeas, aves acuáticas y mamíferos como la danta de páramo.

El clima de la región es de tipo frío-húmedo de montaña, con temperaturas medias anuales entre 10 y 15 °C, y precipitaciones que varían entre 1.200 y 2.000 mm al año. Se caracteriza por una alta nubosidad y humedad relativa elevada durante gran parte del año.

Sin embargo, la laguna enfrenta múltiples amenazas derivadas de la actividad humana, entre ellas la expansión de actividades agropecuarias, la presión por el desarrollo del turismo sin planificación adecuada, y la descarga de aguas residuales sin tratamiento por parte de las comunidades aledañas. Esta situación ha generado una progresiva alteración de sus condiciones limnológicas y representa un riesgo significativo para su equilibrio ecológico.

Esta problemática se desarrollará con mayor profundidad en el Anejo N°5 Situación Actual.

5.3. Vereda Santa Isabel

La vereda Santa Isabel es una pequeña comunidad rural ubicada dentro del corregimiento El Encano, en el municipio de Pasto, departamento de Nariño. Se encuentra en la cuenca inmediata de la Laguna de La Cocha, a una altitud que oscila entre los 2.700 y los 2.800 metros sobre el nivel del mar. Su localización, próxima a un ecosistema de alto valor ambiental, la convierte en una zona de especial sensibilidad ecológica.

Desde el punto de vista poblacional, Santa Isabel alberga una comunidad dispersa de 108 personas. El crecimiento demográfico es bajo, siguiendo la

tendencia general de las zonas rurales del altiplano andino colombiano, con una tasa aproximada del 0,5 % anual.

La economía local se basa fundamentalmente en la agricultura de subsistencia y la ganadería, complementadas en algunos casos con actividades asociadas al turismo comunitario en la laguna. Las viviendas, generalmente unifamiliares, son de tamaño reducido, utilizando materiales como madera y techos de chapa. El acceso a los servicios básicos es limitado; si bien existe cobertura parcial de acueducto y electricidad, el saneamiento básico es claramente insuficiente. Muchas de las viviendas carecen de sistemas adecuados para el tratamiento de aguas residuales, lo que contribuye a la contaminación de las fuentes hídricas cercanas.

En términos ambientales, la vereda se sitúa sobre suelos ricos en materia orgánica, pero con alta susceptibilidad a la saturación y la erosión, especialmente en áreas con deficiente cobertura vegetal. A pesar de encontrarse dentro de la zona de influencia del complejo volcánico Galeras, el nivel de amenaza directa es bajo, aunque el área ha sido clasificada por el Servicio Geológico Colombiano como zona de amenaza media proyectada.

Estas condiciones justifican plenamente la necesidad de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales que no solo mejore las condiciones sanitarias de la población, sino que minimice el impacto ambiental sobre un ecosistema tan delicado como lo es la Laguna de La Cocha.

De igual manera, la situación actual de la Vereda Santa Isabel se desarrollará en el Anejo N°5.

6. Referencias

Ayuda en Acción. (2024). Obtenido de <https://ayudaenaccion.org/>

Colombia, G. d. (2024). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de DANE: <https://www.dane.gov.co/>

ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>



ANEJO N°2: GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Marco Geológico Regional	4
3. Riesgos Geológicos.....	9
3.1. Riesgos asociados por sismicidad	9
3.2. Riesgo por colapsabilidad y expansividad	10
3.2.1. Riesgo de Colapso.....	10
3.2.2. Riesgo de expansividad.....	11
3.2.3. Movimientos en masa.	11
3.2.4. Riesgo por erosionabilidad.....	11
3.3. Riesgo de origen volcánico.....	11
4. Datos Geotécnicos.....	13
5. Referencias.....	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Regiones de Colombia. Fuente: Google	5
Figura 2: Mapa Geológico La Cocha. Fuente: Ministerio de Minas y Energía..	6
Figura 3: Columna Estratigráfica correspondiente a la Figura 2. Fuente: Ministerio de Minas y Energía.....	7
Figura 4: Zonas de Amenaza Sísmica. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi	10
Figura 5: Área de Influencia del Volcan Galeras. Fuente: Servicio Geológico Colombiano	12
Figura 6: Río Guamuez. Fuente: Fotografía propia	15
Figura 7: Suelo presente en la Vereda Santa Isabel. Fuente: Fotografía propia	16

1. Objeto

Este anejo tiene como objeto el definir el marco y características geológicas de las zonas de actuación, que corresponden con la Vereda Santa Isabel. Se estudia en particular las características litológicas y disposición de los diferentes materiales que permiten identificar los distintos tipos de suelo y rocas existentes en la zona. También se realiza un estudio en cuanto a la posición geométrica en el terreno, es decir la posición y extensión de estos materiales, sus aspectos morfológicos y por último, la presencia y régimen de agua en el subsuelo.

2. Marco Geológico Regional

En Colombia se pueden diferenciar 6 regiones naturales, que pueden identificarse en el mapa de la figura 1:

- Caribe
- Amazonía
- Orinoquía
- Andes
- Pacífico
- Insular

La vereda Santa Isabel se encuentra en el Municipio de Pasto, que pertenece a su vez al departamento de Nariño. Dicho municipio se encuentra en el límite de la región andina y la Amazonía. El humedal de La Cocha y, por lo tanto, Santa Isabel, se encuentran en esta última.



Figura 1: Regiones de Colombia. Fuente: Google

Para obtener información sobre la geología de la zona, se ha recurrido a los planos publicados por el Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. El plano correspondiente al municipio de Pasto es la 429. En la siguiente imagen, se observa la geología de la Laguna de La Cocha:

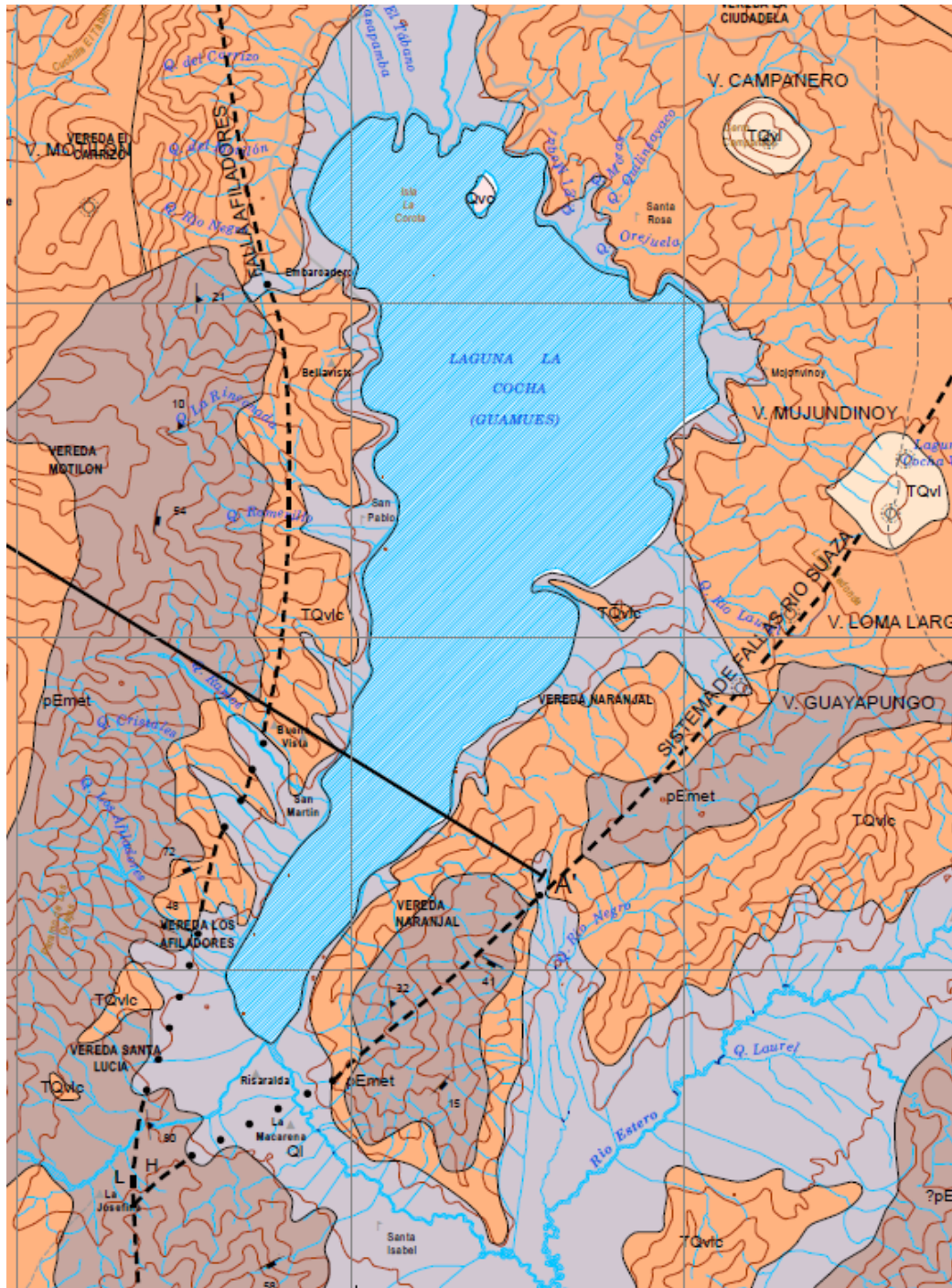


Figura 2: Mapa Geológico La Cocha. Fuente: Ministerio de Minas y Energía

En esta imagen se puede observar, además, la geología de la zona de estudio, ubicada en la zona sur de la misma. Además, se describe con ayuda de la columna estratigráfica correspondiente a esta plancha. El Ministerio mencionado publica, además, un texto desde el que se extrae información sobre los diferentes elementos componentes de la geología de la Vereda.

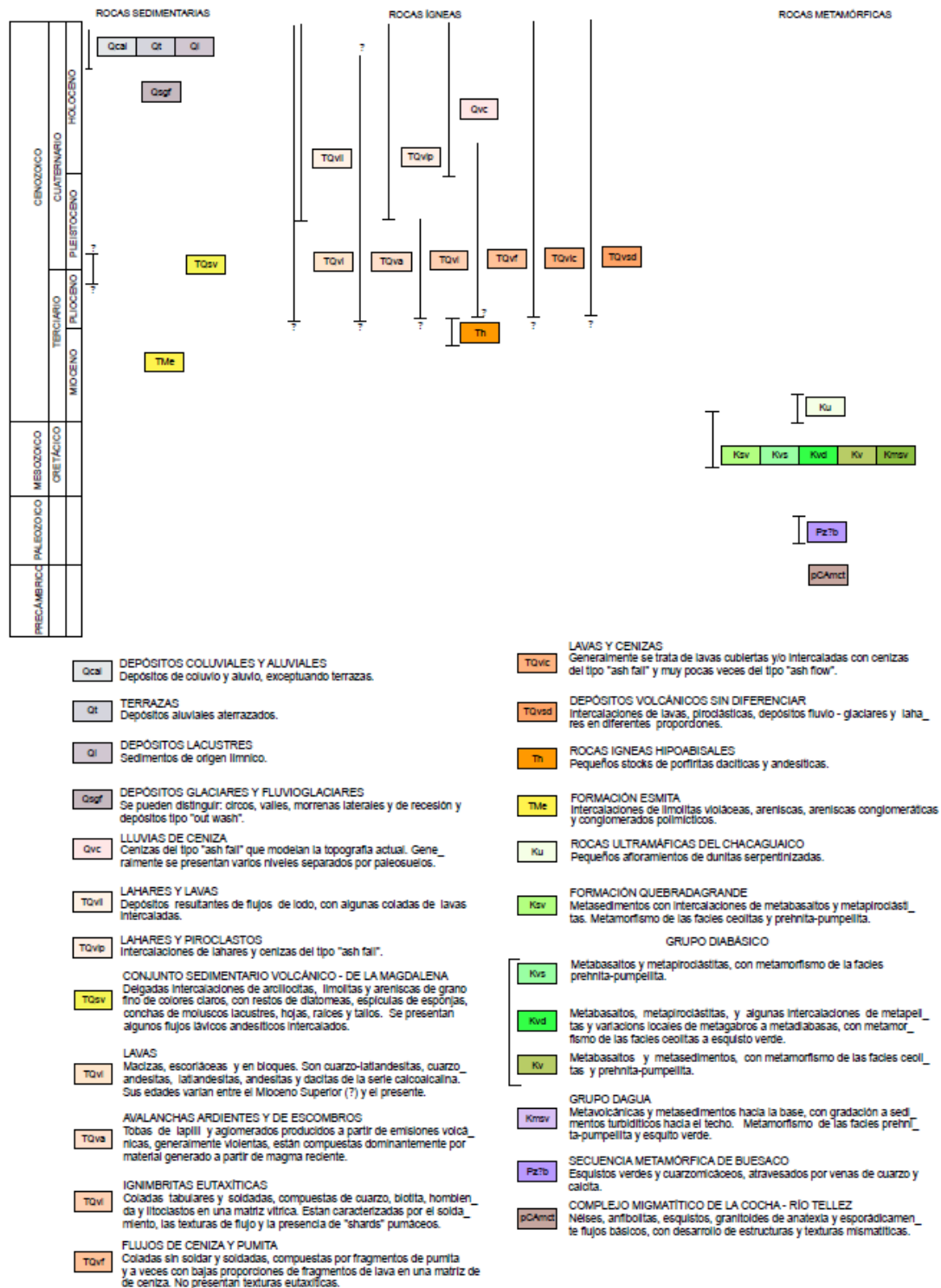


Figura 3: Columna Estratigráfica correspondiente a la Figura 2. Fuente: Ministerio de Minas y Energía

Estos se describen a continuación:

- **Depósitos Lacustres:** estos se encuentran muy presentes en La Cocha. Son depósitos producidos por lagunas naturales y artificiales, y zonas pantanosas que sólo inundan en invierno y/o son relictos de antiguos dominios lacustres; son esencialmente limos de colores claros y oscuros, según el contenido de la materia orgánica y las épocas de alta y baja o no pluviosidad. La edad de este tipo de depósitos debe ser Holoceno y se continúan formando en la actualidad.
- **Complejo migmatítico de La Cocha - Río Tellez:** esta unidad se sitúa en gran parte del S y SE de la plancha y es pobre en afloramientos de roca fresca. Son principalmente rocas ígneas de composición granodiorítica, afectadas por el fenómeno de blastesis, y metamórficas, principalmente ortogneisses, granulitas y anfibolitas. Las principales características petrográficas de estas rocas son: presencia de biotita roja, de cuarzo en mosaicos y con extinción ondulatoria, de microlina poikilítica, de anfíbol hastingsítico, a veces a pasando a biotita, de piroclasa zonada, de texturas cataclásticas, desarrollo de pertitas y mirmekitas, relictos de texturas sedimentarias (estratificación y redondeamiento de cuarzo, del circón y del apatito), e invasión de microclina. Las rocas del Complejo tienen una composición mineralógica aproximadamente uniforme, a pesar de la variedad de estructuras y texturas. La asociación mineralógica, la presencia de granulitas y el carácter pertítico de los feldespatos y los fuertes colores de la biotita y de la hornblenda, favorecen un metamorfismo de las facies granulita. Litológicamente, este complejo es de edad precámbrica. Este Complejo está limitado en su parte occidental por la Falla del Río Guáitara, falla activa que hace parte del Sistema Romeral. Este bloque tectónico haría parte del cinturón granulítico postulado por Kroonenberg (1982), en la parte occidental del Escudo de Guayana y originado por la colisión continental de las rocas precámbricas andinas y las rocas precámbricas del Escudo Canadiense, durante la Orogenia Grenville.
- **Lavas y Cenizas:** esta unidad está bastante distribuida en la plancha y está conformada por lavas y flujos y/o caídas de cenizas no diferenciadas en la cartografía geológica, generalmente hay predominio de lavas que se hallan cubiertas por cenizas o tienen intercalaciones de ellas.

Además, la comunidad se encuentra cerca del Sistema de Fallas del Río Suaza. Este sistema tiene una dirección general de N40°E y a nivel regional sirve de contacto al Valle del Magdalena con la Cordillera Oriental. También se encuentra próxima a la Falla de Afiladores, la cual ejerce cierto control tectónico sobre La Cocha.

3. Riesgos Geológicos

3.1. Riesgos asociados por sismicidad

Geográficamente, la mitad occidental de Colombia se encuentra ubicado en una de las regiones de alta sismicidad mundial, por lo que está continuamente expuesto a sufrir actividad sísmica.

Presenta estructuras tectónicas activas relacionadas con la subducción de la placa de Nazca, la cual origina una zona de alta sismicidad.

Por otra parte, la porción noroccidental de Sudamérica está limitada del resto de continente por una zona de fallas activas regionales de dirección NE-SW, con movimiento esencialmente dextral.

Cabe destacar la diferencia entre terremotos de origen tectónicos y los asociados a la actividad volcánica. Puesto que los de origen tectónicos provocan además otros tipos de riesgos geológicos asociados a ellos como lo son los deslizamientos en masa, subsidencia, licuefacción, tsunamis, etc.

Acorde al siguiente mapa, el municipio de Pasto se encuentra en una zona de amenaza sísmica alta.

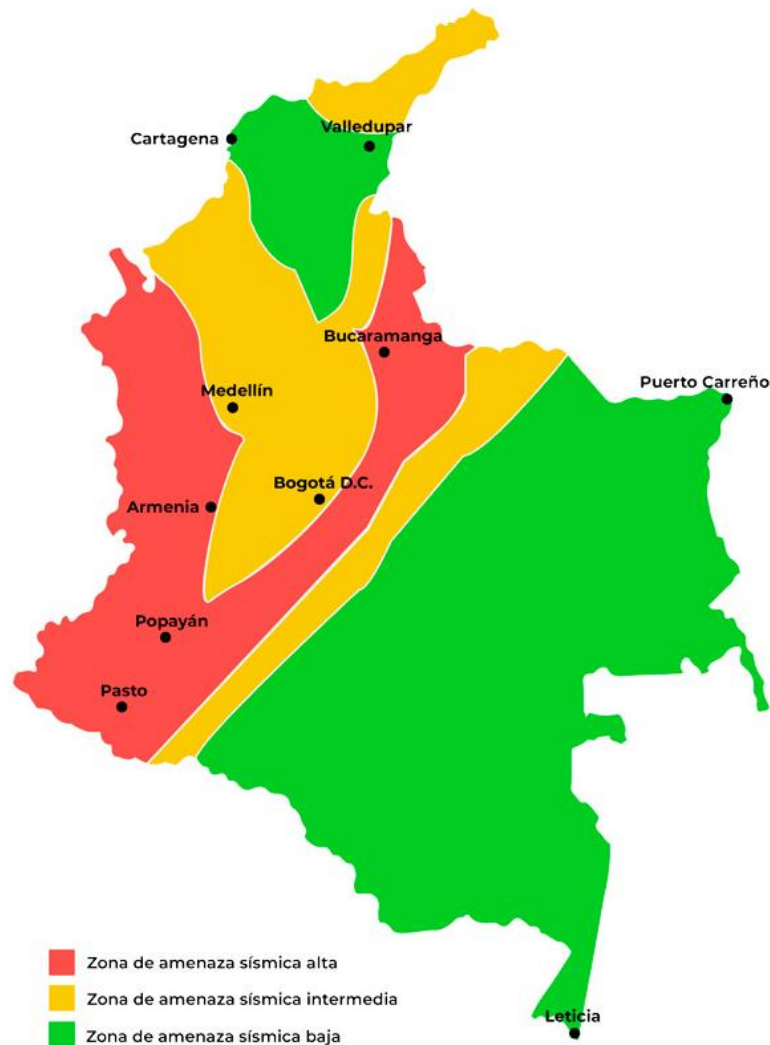


Figura 4: Zonas de Amenaza Sísmica. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Por tanto, la zona de estudio presenta una alta vulnerabilidad a los efectos sísmicos.

3.2. Riesgo por colapsabilidad y expansividad

3.2.1. Riesgo de Colapso

Se entiende por colapso el asiento brusco y espontáneo que tiene lugar en un terreno sometido a una carga de cimentación, cuando sobreviene una saturación o inundación del sistema de poros de este terreno. Este fenómeno se produce principalmente en suelos con elevado contenido de finos, especialmente del tipo limos, débilmente cementados y

semisaturados. Como se expresó anteriormente, la comunidad se encuentra sobre depósitos lacustres con alto contenido de limos.

3.2.2. Riesgo de expansividad

Consiste en el cambio de volumen que sufre el terreno al variar su grado de humedad. Se trata de un fenómeno por el cual determinadas arcillas estructuralmente inestables aumentan de forma desproporcionada su volumen al aumentar su contenido de agua, debido a modificaciones internas en las condiciones de las fuerzas intergranulares.

Por último, hay que señalar que en esta zona existe la presencia de suelos compresibles, es decir, suelos con elevada deformabilidad, que pueden dar lugar a importantes asentamientos de los rellenos que se cimientan sobre estos suelos, provocando deformaciones en la obra.

A pesar de esto, no está contemplado en el proyecto el realizar cimentaciones de la envergadura suficiente como para tener en cuenta este tipo de riesgo.

3.2.3. Movimientos en masa.

En general, dentro de este riesgo se encuentran los movimientos de ladera asociados a inestabilidades gravitacionales. Las causas de estos movimientos son muy amplias desde la presencia de fallas o sismos hasta el grado del pendiente del terreno, precipitaciones o alteraciones superficiales.

En cuanto a la zona de estudio existe una peligrosidad media de desprendimientos de taludes, debido en su mayoría a fenómenos sísmicos muy frecuentes a lo largo del río Cayapas.

3.2.4. Riesgo por erosionabilidad.

El material arcilloso, como el que encontramos en las zonas de actuación, es muy erosionable, y dan lugar a la formación de regueros y cárcavas. La presencia de niveles de suelo más competentes alternados con capas de menor competencia puede generar inestabilidades por erosiones diferenciales.

3.3. Riesgo de origen volcánico

La Vereda Santa Isabel se encuentra simultáneamente dentro de la zona de amenaza baja y de la zona de amenaza media proyectada.

La zona de amenaza baja corresponde a áreas donde se podrían depositar piroclastos con espesores entre 0,5 y 1 cm, en un radio aproximado de hasta 100 km desde el cráter del Galeras. Si bien estos depósitos no representan un riesgo directo para la vida humana, sí pueden afectar temporalmente la calidad del aire, contaminar fuentes de agua superficial y alterar el funcionamiento de infraestructuras sensibles como, en este caso, la PTAR de proyecto.

Por otro lado, la zona de amenaza media proyectada, aunque no ha sido históricamente afectada por eventos explosivos, podría registrar acumulaciones de varios centímetros en situaciones excepcionales, en función de la dirección y fuerza de los vientos al momento de una erupción.

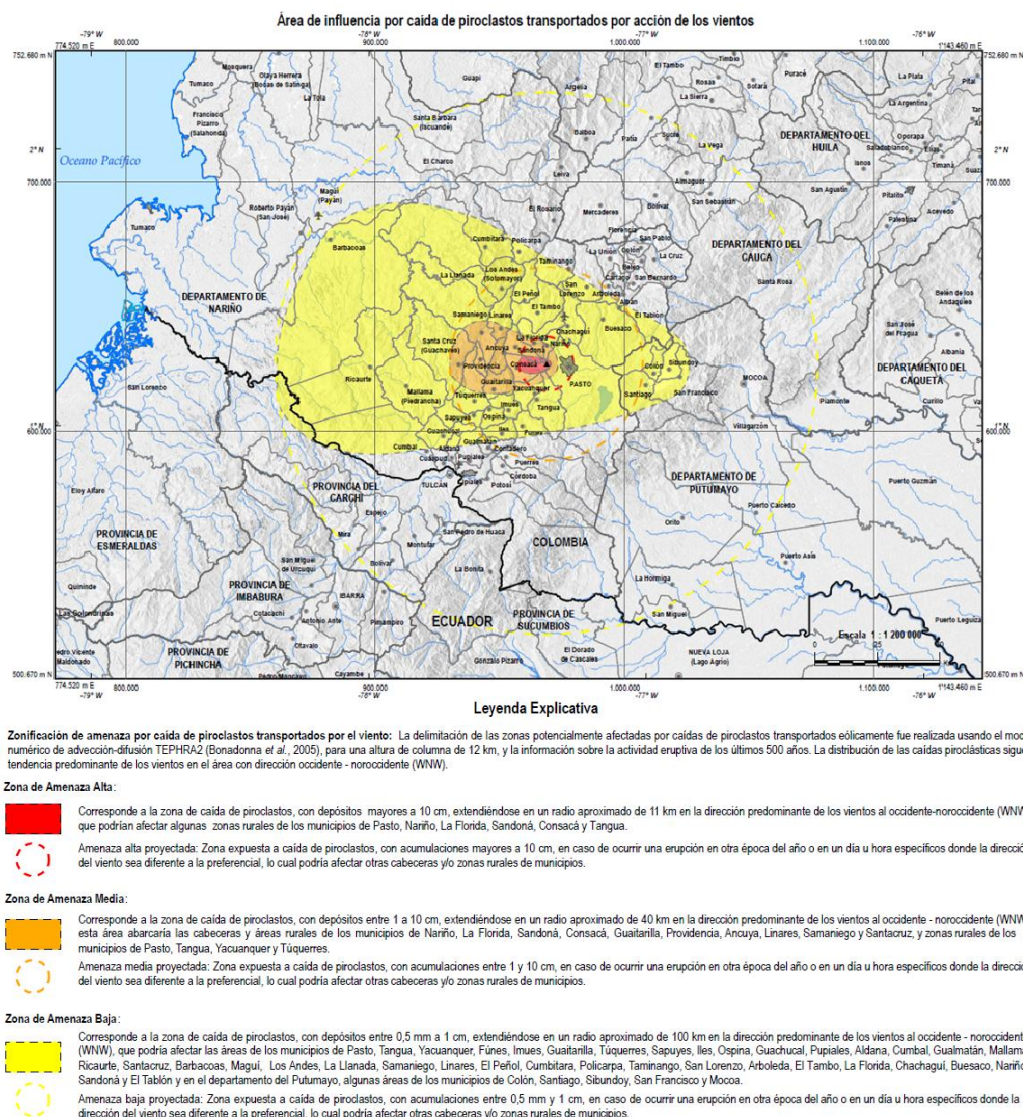


Figura 5: Área de Influencia del Volcan Galeras. Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Este análisis no implica una amenaza inminente, pero sí representa un factor ambiental relevante a considerar, dado el historial eruptivo del Galeras y la exposición del territorio ante procesos naturales de origen volcánico.

4. Datos Geotécnicos

Una de las partes fundamentales para la realización del proyecto es contar con un documento que recoja la información geotécnica de la zona.

Dado que en las zonas de actuación no existe documentación relativa a la geotécnica, es necesario realizar ensayos para obtener los parámetros geotécnicos de terreno. Sin embargo, estos ensayos no pudieron llevarse a cabo debido a la falta de presupuesto durante la etapa de visita a la comunidad.

Por ello, en esta sección del anejo se detalla únicamente la metodología a seguir para la obtención de dichos parámetros.

1. Trabajo de campo: realización de prospecciones geotécnicas en función del tipo del terreno como sondeos, calicatas o penetrómetros.

2. Ensayos de laboratorio: en función de la muestra, los parámetros requeridos y el tipo de proyecto a ejecutar se pueden realizar diferentes ensayos, entre ellos:

- Identificación de la muestra: granulometría, plasticidad, etc.
- Ensayos de estado: humedad, peso específico seco o aparente.
- Ensayos de permeabilidad: permeámetros de diversas cargas.
- Ensayos volumétricos: comprensibilidad edométrica, expansividad y colapso.
- Ensayos de resistencia: compresión simple, corte directo o ensayo triaxial.
- Ensayos químicos.

No obstante, con el objetivo de completar la información, se han tomado fotografías del lugar para facilitar una inspección visual preliminar.

Como se aprecia en las imágenes de la figura 7, se puede estimar que los terrenos son de carácter limoso.

Son terrenos erosionables y deformables, con nivel freático cercano a la superficie. Presenta una permeabilidad moderada en las zonas de depósitos aluviales, debido a su carácter granular, y menor en las zonas limosas.

Los mayores riesgos asociados a la zona son: el riesgo sísmico y el de deslizamiento en masa por condiciones climáticas adversas, las lluvias de carácter torrencial que pueden lavar el terreno y arrastrar parte de material de dicho suelo generando así irregularidades que pueden afectar a nuestras infraestructuras y conducciones.

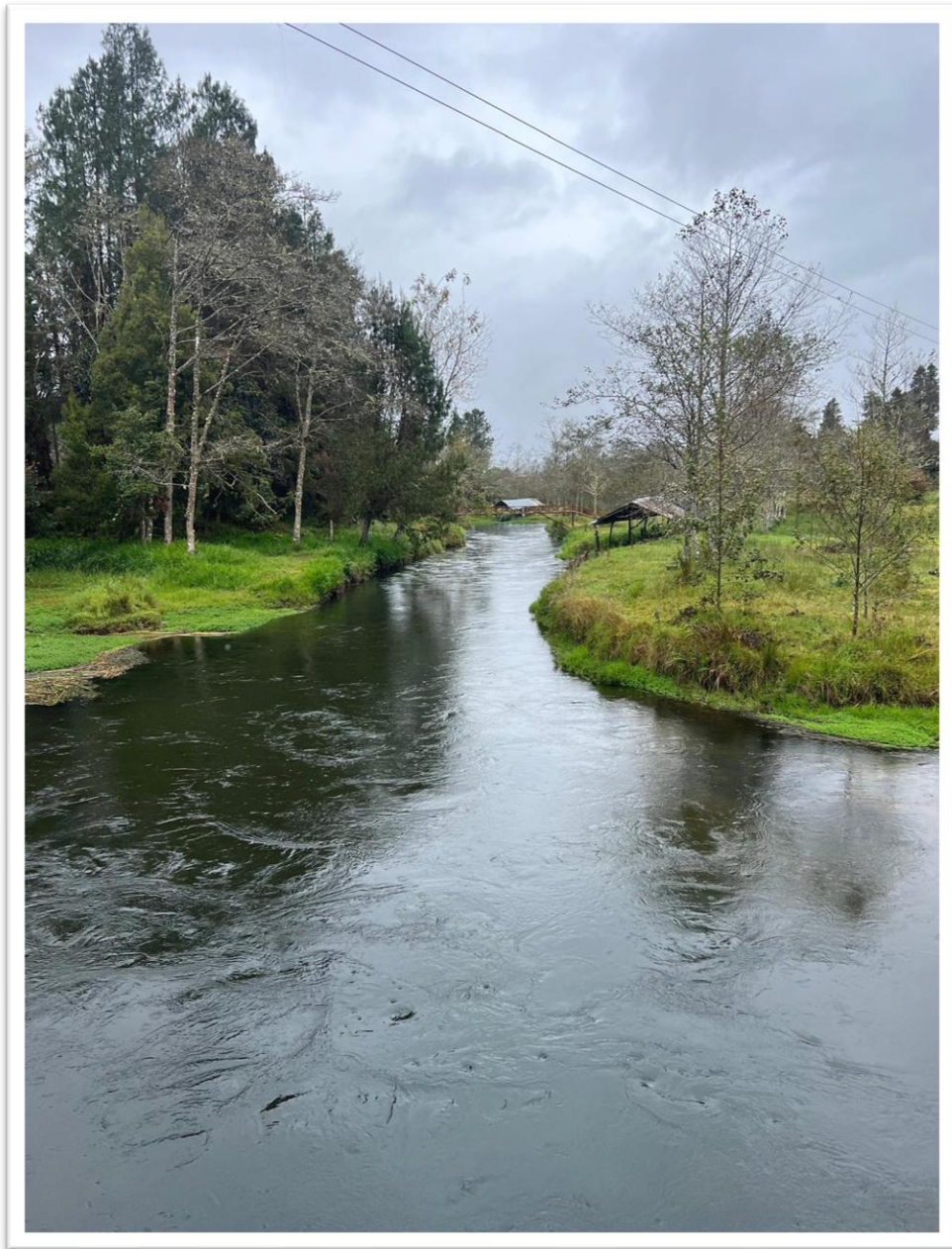


Figura 6: Río Guamuez. Fuente: Fotografía propia



Figura 7: Suelo presente en la Vereda Santa Isabel. Fuente: Fotografía propia

5. Referencias

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s.f.). Obtenido de
<https://www.igac.gov.co/>

Ministerio de Minas y Energía, Servicio Geológico Colombiano. (1991).
Geología de la Placha 429 - Pasto. Bogotá.

Ministerio de Minas y Energía, Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Mapa de Amenaza Volcánica del Volcán Galeras*. Bogotá.



ANEJO N°3: TOPOGRAFÍA Y SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Ubicación	4
3. Curvas de Nivel	6
4. Emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	8
4.1. Alternativa 1	9
4.2. Alternativa 2	9
4.3. Alternativa 3	10
4.4. Selección de Alternativa	10
5. Referencias	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Región Nariño. Fuente: Google	4
Figura 2: Ubicación de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Google Earth	6
Figura 3: Vista Aérea de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Google Earth.....	7
Figura 4: Modelo SIG de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Elaboración Propia a partir de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi	8
Figura 5: Emplazamientos Posibles PTAR. Fuente: Elaboración Propia a partir de una Ortofoto realizada en campo	9
Figura 6: Alternativa 3. Fuente: Elaboración Propia	11
Figura 7: Alternativa 1. Fuente: Elaboración Propia	11

1. Objeto

El siguiente anejo tiene por objeto recopilar la cartografía de la zona de estudio.

Debido a la falta del equipamiento necesario para realizar el levantamiento topográfico en campo, la información que se expondrá a continuación es la disponible en fuentes digitales, tales como imágenes satelitales, modelos digitales del terreno y documentos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Para la ejecución de las obras será necesario realizar un levantamiento en campo que dé información detallada de la topografía.

2. Ubicación

El departamento de Nariño está ubicado en el sur-occidente de Colombia. Limita al norte con el departamento de Cauca, al este con el departamento de Putumayo, al sur con Ecuador y al oeste con el Océano Pacífico. Su relieve varía desde las montañas de los Andes hasta zonas costeras tropicales. La



Figura 1: Región Nariño. Fuente: Google

capital es Pasto, situada en el altiplano andino.

La Laguna de La Cocha, también conocida como Lago Guamuez, es un Humedal Ramsar de alta importancia ecológica ubicado en el departamento de Nariño, Colombia. Se localiza a unos 20 km al sureste de Pasto, a una altitud de aproximadamente 2.800 metros sobre el nivel del mar, en las estribaciones de los Andes. Este humedal es parte de la cuenca del río Guamuez y tiene una extensión de más de 39.000 hectáreas. La zona destaca por su rica biodiversidad, con importantes ecosistemas de páramo y bosque andino, albergando especies endémicas de flora y fauna.

La Cocha es reconocida como un humedal de importancia internacional debido a su papel crucial en la regulación del clima, la conservación de la biodiversidad y su capacidad como reservorio de agua dulce. El área que rodea la laguna incluye tierras agrícolas y comunidades locales que dependen de los recursos del humedal para sus medios de vida. Además, alberga la Isla de la Corota, que es una reserva natural y un sitio sagrado para las comunidades indígenas locales. La figura 11 muestra una imagen satelital obtenida de Google Earth, en la que se visualiza la localización geográfica y las dimensiones espaciales de la laguna analizada.

Se accede principalmente desde Pasto, recorriendo unos 30-45 minutos en vehículo por la carretera Nacional N°10 que lleva al corregimiento de El Encano, el cual bordea la laguna.

La vereda Santa Isabel es la comunidad más meridional del humedal y sus coordenadas aproximadas son 0°59'21" N - 77°09'24" O



Figura 2: Ubicación de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Google Earth

3. Curvas de Nivel

En la figura 3 imagen satelital de la zona, se puede observar una organización territorial basada en parcelas alargadas, distribuidas a lo largo de un curso de agua que atraviesa la zona central de la vereda. Este cauce cumple un rol

fundamental, no solo en la delimitación física del territorio, sino también como fuente de agua para actividades agrícolas.

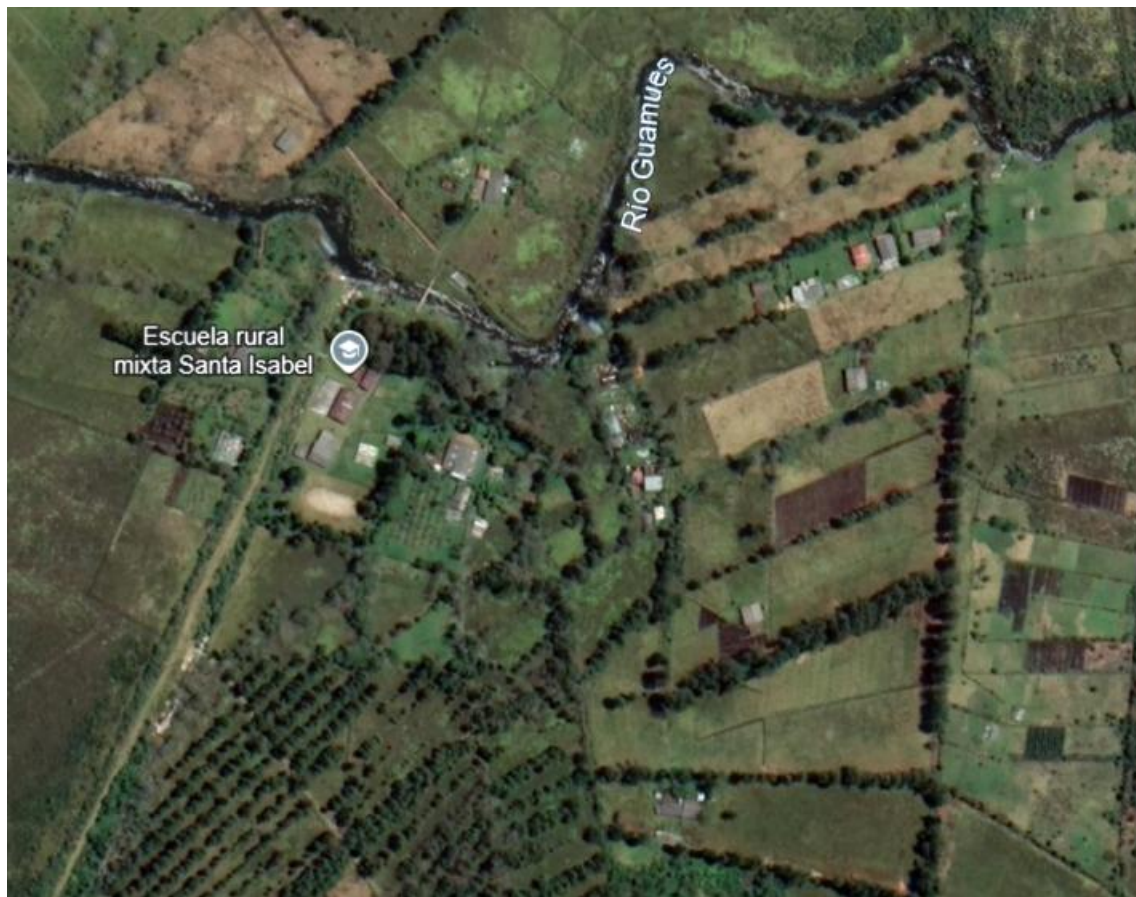


Figura 3: Vista Aérea de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Google Earth

Las viviendas se hallan dispersas, con mayor concentración en la margen sur del río, mientras que la infraestructura vial es básica, con un camino rural que conecta los distintos sectores. Las condiciones del terreno, junto con la vegetación presente, delatan la condición de clima húmedo.

A partir de un Modelo Digital del Terreno (ráster) realizado por el instituto Geográfico Agustín Codazzi y utilizando software de sistemas de información geográfica (Quantum GIS), se han extraído las curvas de nivel para modelizar la zona de estudio, tal y como se muestra en la imagen siguiente. Además, se añadió al modelo una capa vectorial para la representación de los domicilios a dotar de saneamiento en este proyecto.

El análisis de las curvas de nivel, evidencia la pendiente prácticamente nula pendiente del terreno sobre el que se asienta la comunidad, ubicada a una altitud promedio 2787 m.s.n.m, con una variación altimétrica de apenas un

par de metros de altitud entre las alternativas que se tratarán a continuación. Esta condición topográfica anticipa la necesidad de establecer en obra una pendiente mínima en las zanjas en las que se instalarán las conducciones de la red de saneamiento para garantizar las velocidades mínimas de circulación de agua en la PTAR.

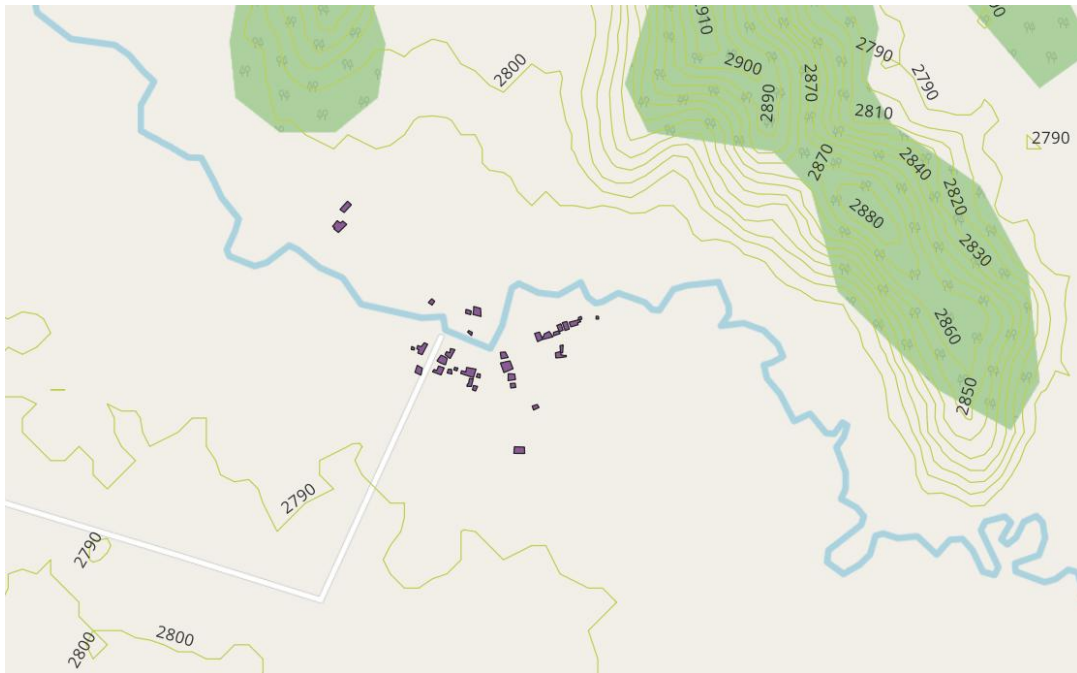


Figura 4: Modelo SIG de la Vereda Santa Isabel. Fuente: Elaboración Propia a partir de datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi

4. Emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Con respecto a las posibles ubicaciones de la futura Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (en adelante PTAR) se observan tres alternativas posibles.

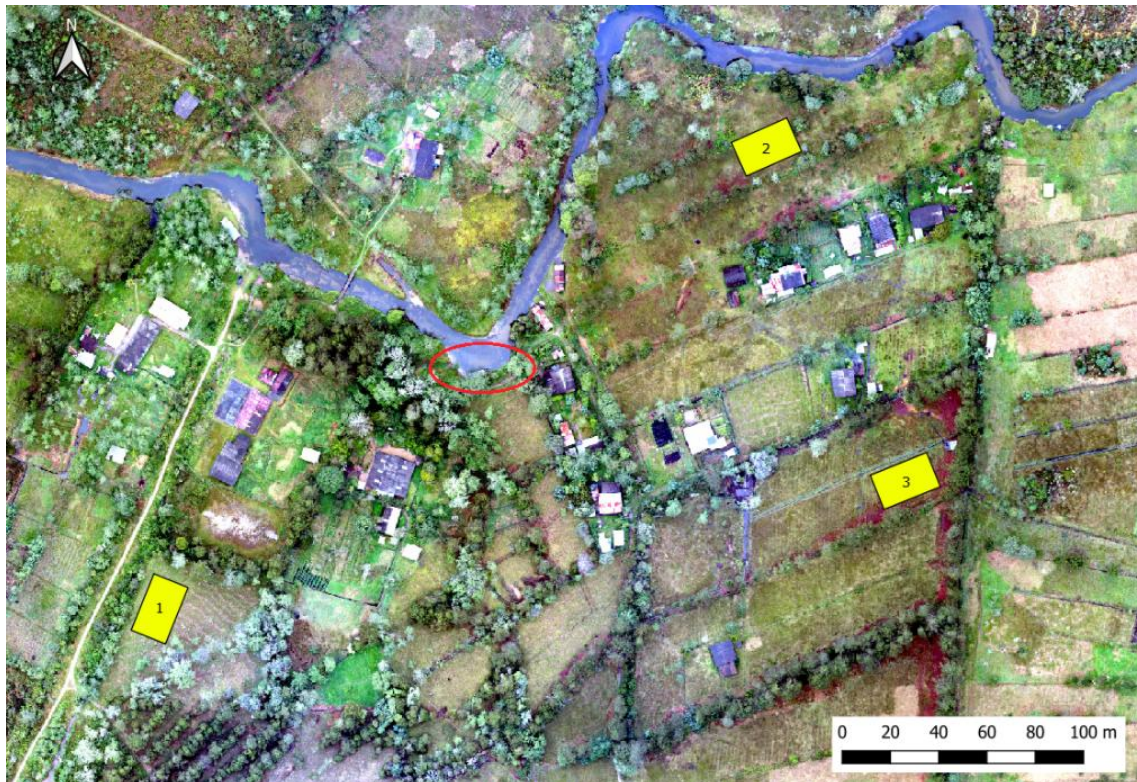


Figura 5: Emplazamientos Posibles PTAR. Fuente: Elaboración Propia a partir de una Ortofoto realizada en campo

4.1. Alternativa 1

La primera alternativa, ubicada en las coordenadas $-77.15828, 0.98747$ (Sistema de referencia WGS84), es considerada debido a dos ventajas que presenta. Primero, tiene un impacto visual reducido y, segundo, se encuentra sobre un camino bien consolidado que presentaría una ventaja para la circulación de maquinaria de construcción y mantenimiento.

Su cercanía a unos de los núcleos de la población (en donde se encuentra, además, la residencia del cabecilla de la comunidad) hace que su inspección sea prácticamente inmediata, no suponiendo mayor esfuerzo para el encargado de los trabajos.

4.2. Alternativa 2

La segunda alternativa, ubicada en las coordenadas $-77.15558, 0.99018$ (WGS84), se encuentra cerca de otro núcleo de concentración de viviendas de la comunidad. Está, además, en una posición de fácil acceso por tierra y cercano al pequeño puerto de estacionamiento de lanchas (marcado en rojo en la figura) para transporte de los materiales de construcción y mantenimiento.

Como desventaja se puede mencionar el impacto olfativo que tendría esta en este segundo núcleo de viviendas. Adicionalmente, su proximidad al cauce del río representa un riesgo potencial de contaminación directa en caso de accidentes durante la explotación de la planta. Asimismo, esta ubicación implicaría además un impacto visual para los navegantes que circulen por el río.

4.3. Alternativa 3

La tercera alternativa, ubicada en las coordenadas -77.15508,0.98895 (WGS84), presenta como principal ventaja su ubicación, respecto a la dirección principal de los vientos y la distancia a los núcleos (ligeramente mayor que en las otras alternativas), lo que hace que tenga un impacto olfativo muy reducido, si no nulo, para los habitantes de la comunidad. Además, su impacto visual sería mínimo y cualquier accidente que pueda ocurrir en esta ubicación, aunque impactará, este será menor debido a encontrarse alejada del cauce.

4.4. Selección de Alternativa

A pesar de a priori parecen ser válidas las tres opciones, se opta por descartar la segunda debido a la cercanía al río, y su posible impacto en caso de fallo, que daría un resultado opuesto al esperado con este proyecto, el cual es, entre otras, la reducción de contaminación en el río.

Por su parte, las alternativas 1 y 3 se consideran técnicamente válidas con sus ventajas y desventajas. Para poder decantarse por una u otra opción, se procede a realizar, mediante uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (Quantum GIS), un esquema preliminar de como sería la red de saneamiento en caso de adoptar cada una de las opciones. Así, se obtienen los siguientes gráficos:

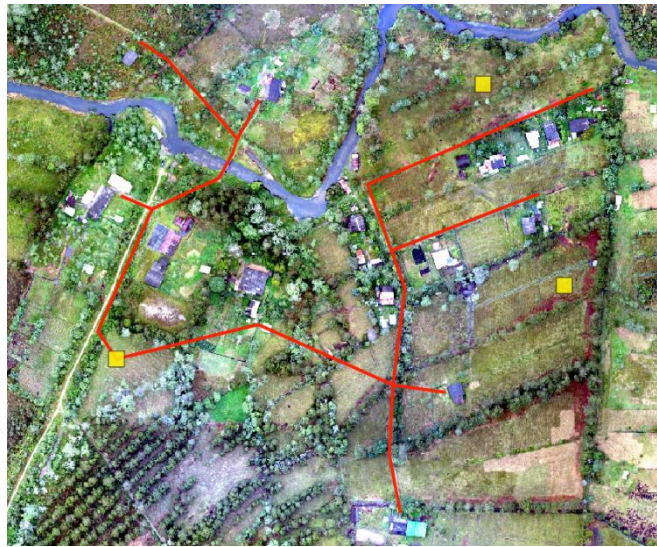


Figura 7: Alternativa 1. Fuente: Elaboración Propia

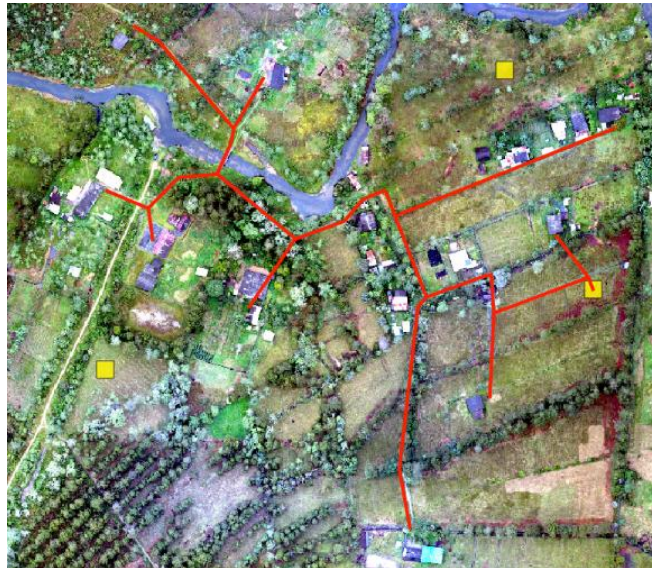


Figura 6: Alternativa 3. Fuente: Elaboración Propia

Mediante cálculos utilizando el software mencionado (QGIS), se obtiene que las longitudes de la red de saneamiento serían:

Alternativa 1: 1075 m

Alternativa 3: 1022 m

Así, el emplazamiento elegido para la planta es la mencionada en la Alternativa 3.

5. Referencias

CEDEX, M. d. (2021). Manual para la Implantación de Sistemas de Depuración en Pequeñas Poblaciones. Madrid.

Google LLC. (s.f.). *Google Earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2015). Obtenido de <https://www.igac.gov.co/>

ANEJO N°4: CLIMATOLOGÍA

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Clima General de Colombia.....	4
2.1. Temperaturas	4
2.2. Precipitaciones	6
2.3. Vientos.....	8
3. Climatología en la zona de estudio.....	11
4. Referencias.....	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de la temperatura máxima anual en Colombia en °C. Fuente: IDEAM	6
Figura 2: Distribución de la precipitación media anual (mm). Fuente: IDEAM	8
Figura 3: Mapa del viento medio en Colombia. Fuente: IDEAM	10
Figura 4: Rosa de los Vientos multianual de Tumaco-Nariño. Fuente: IDEAM	11
Figura 5: Clasificación Climática de Caldas-Lang. Fuente: IDEAM	11
Figura 6: Datos climatológicos de la Ciudad de Pasto. Fuente: IDEAM	12
Figura 7: Isoyetas, Humedal La Cocha. Fuente: IDEAM	13
Figura 8: Isotermas, Humedal La Cocha. Fuente: IDEAM.....	14

1. Objeto

En el siguiente anejo se describen y analizan los parámetros que caracterizan la climatología de la Vereda Santa Isabel.

Es fundamental realizar una correcta caracterización de las condiciones climáticas que pueden presentarse tanto durante la ejecución de las obras como en su período de operación.

Los principales parámetros por estudiar con respecto a la climatología de la zona son: temperaturas, precipitaciones, vientos y humedad.

2. Clima General de Colombia

El clima de Colombia es muy variado, tanto a lo largo de su territorio como a lo largo del tiempo. Esta diversidad climática está determinada principalmente por su ubicación geográfica y por las características fisiográficas del territorio colombiano. La variabilidad climática constituye un recurso importante del país, ya que influye significativamente en las distintas actividades humanas que se desarrollan en él.

2.1. Temperaturas

El régimen de temperaturas del aire en el país está determinado por su situación geográfica y las particularidades fisiográficas de su territorio. La ubicación geográfica influye principalmente sobre la amplitud anual de la temperatura del aire, mientras que las características fisiográficas determinan en gran medida su variabilidad espacial:

- En la región Andina, el régimen de la temperatura del aire se caracteriza por la presencia de los llamados pisos térmicos, los cuales consisten en la disminución progresiva de la temperatura media del aire a medida que aumenta la altitud sobre el nivel del mar. En esta región se presentan núcleos o franjas bien definidas con valores relativamente altos o bajos de temperatura. Los valles de los principales ríos, como el Magdalena, el Cauca, el Patía y el Sogamoso, registran temperaturas altas, mientras que los altiplanos Cundiboyacense y Nariñense, la zona montañosa del centro de Antioquia, así como las áreas aledañas a nevados y las regiones de páramo presentan los valores mínimos. En promedio, la temperatura disminuye a razón de 0,625 °C por cada 100 m: de altitud. Por ejemplo,

se estima una temperatura de 16,9 °C a 2.000 m sobre el nivel del mar, y de 10,7 °C a 3.000 m. La isoterma de 0 °C se alcanza aproximadamente a 4.700 msnm.

- En la costa Atlántica, la temperatura media oscila entre 24 °C y 28 °C, al igual que en los departamentos de Córdoba, y en las zonas central y norte de Sucre. En otras áreas como el sur de La Guajira, el oriente del Atlántico, al suroriente de Sucre, el departamento de la Magdalena (exceptuando la Sierra Nevada de Santa Marta) y el valle del río Cesar, las temperaturas medias son más elevadas con valores que varían entre 28 °C y 30 °C.
- En la Orinoquía y la vasta región Amazónica, el relieve es predominantemente plano y homogéneo, sin accidentes geográficos significativos. Estas zonas están conformadas principalmente por extensas sabanas cubiertas de pastos. La distribución de la temperatura media del aire en ambas regiones es muy uniforme, con valores entre 24 °C y 28 °C.
- Entre la cordillera Occidental y el océano Pacífico se encuentra la región Pacífica, con temperaturas medias anuales entre 24 °C y 28 °C. Esta zona cubre gran parte de los departamentos de Chocó, Valle del Cauca y Nariño, y está bañada por importantes ríos, como el Mira, la parte baja del Patía, el San Juan y el Atrato.

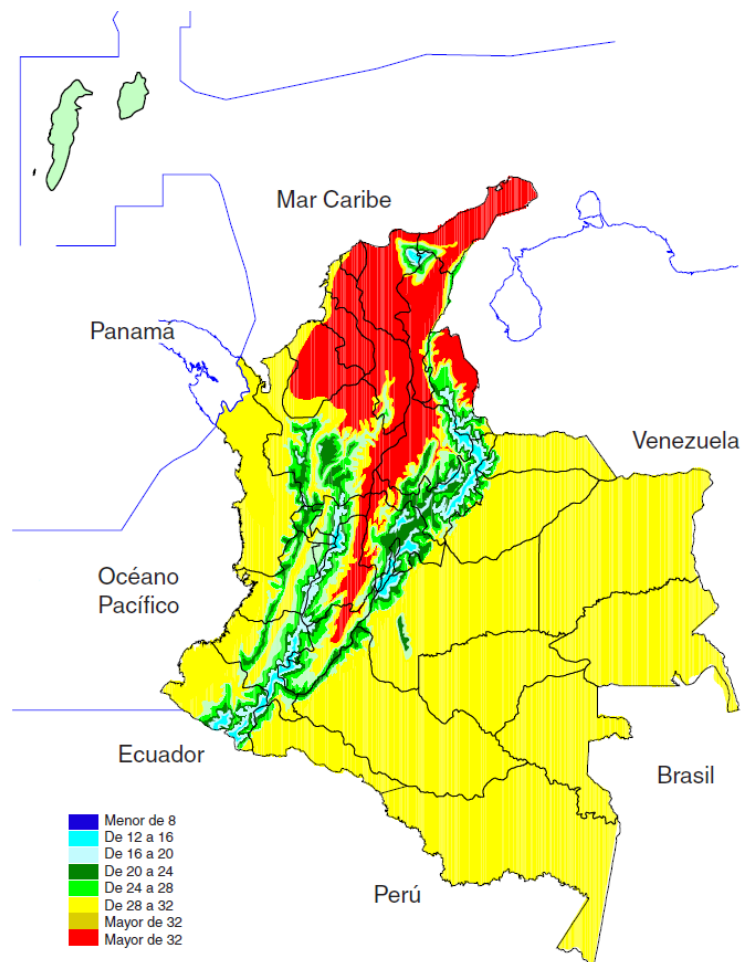


Figura 1: Distribución de la temperatura máxima anual en Colombia en °C.
Fuente: IDEAM

2.2. Precipitaciones

El régimen normal de precipitaciones en Colombia está determinado por su situación geográfica y por la influencia de algunos factores clave, tales como la circulación atmosférica, el relieve y la interacción entre la tierra-mar, y la influencia de áreas selváticas o boscosas (mapa 3.5). La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de los alisios del noreste y sureste.

Estas corrientes de aire cálido y húmedo, provenientes de latitudes subtropicales de los dos hemisferios, confluyen en una franja denominada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). Esta zona favorece el desarrollo de nubosidad y de lluvias, y se desplaza latitudinalmente siguiendo el desplazamiento aparente del Sol con respecto a la Tierra, con un desfase

aproximado de dos meses. Con este desplazamiento, la ZCIT pasa sobre el territorio colombiano en dos ocasiones cada año. El desplazamiento de la ZCIT y la acción de factores físico-geográficos regionales, como la orografía, determinan el régimen de lluvias en las regiones del Colombia. Sobre Colombia y las áreas vecinas en el sector del océano Pacífico oriental, la ZCIT alcanza entre enero y febrero su posición extrema meridional en los 2° de latitud norte, mientras que en diciembre está un poco más al norte. Durante los eventos de El Niño puede alcanzar los 5° de latitud sur, en tanto que, en la parte continental, la ZCIT aparece fraccionada e independiente de éste y se ubica entre los 5° y 10° de latitud sur. Entre marzo y mayo, el segmento del Pacífico de la ZCIT se mueve hacia el norte, y su posición cerca de la costa está entre 2° y 7° de latitud norte; la rama continental se conecta entre marzo y abril con el segmento del océano Atlántico, formando un solo sistema que se ubica entre los 5° de latitud sur y 1° de latitud norte al oriente del país; estos dos segmentos se unen a través de conglomerados convectivos no muy bien organizados sobre la región Andina. Entre junio y agosto, al inicio del periodo, el segmento del Pacífico se localiza en los 8° de latitud norte y al final del periodo en los 10° de latitud norte, penetrando a la región Caribe; el segmento continental presenta una inclinación suroeste-noreste sobre el oriente del territorio colombiano, desplazándose también hacia el norte y pasado del ecuador a los 8° de latitud norte. En la figura 3 se observa un mapa que muestra la distribución de la precipitación media anual en Colombia.

2.3. Vientos

Colombia, por su ubicación geográfica entre el Trópico de Cáncer y el de Capricornio, está sometida a los vientos alisios que soplan del noreste en el hemisferio Norte y del sureste en el hemisferio Sur. Sin embargo, estos vientos no mantienen siempre exactamente estas direcciones. Debido a la proximidad del país con el ecuador, la fuerza de Coriolis, factor clave en la dinámica del viento, es muy reducida, lo que hace que los vientos estén determinados por las condiciones locales y por el rozamiento con el terreno. Este razonamiento está acentuado por las marcadas orográficas generadas por la cordillera de los Andes al ramificarse en tres sistemas montañosos,

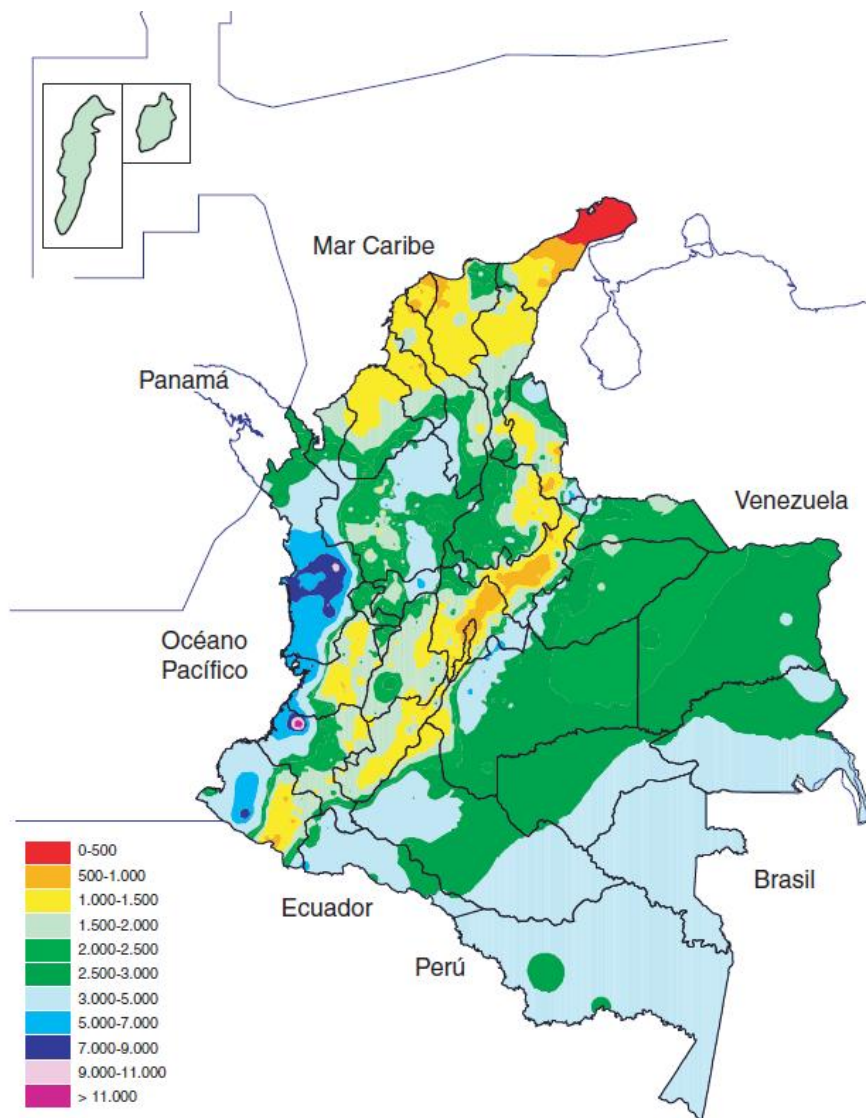


Figura 2: Distribución de la precipitación media anual (mm). Fuente: IDEAM

que se extienden longitudinalmente a lo largo del país con diferentes elevaciones.

Además, los dos mares que bordean el territorio (mar Caribe y Océano Pacífico) también tienen un papel relevante en el comportamiento del viento. Esto hace que la dirección y la velocidad del viento varíen constantemente tanto en el tiempo como en el espacio.

En el territorio colombiano, por el contraste mar-tierra en las costas y por la compleja orografía, se forman sistemas de circulación locales y de mesoescala (área aproximada de 50 x 50 km). Entre estos se destacan las brisas mar-tierra y tierra-mar, así como los vientos montaña-valle y valle-montaña. La brisa mar-tierra se presenta en las proximidades de las costas. Frecuentemente hacia al final de la mañana se establece un viento que sopla del mar hacia la tierra y al comienzo de la tarde alcanza su intensidad máxima; después disminuye progresivamente y en la noche puede cesar o invertirse en una corriente dirigida de la tierra al mar. La brisa de valle-montaña se produce cuando las pendientes de las montañas se calientan por radiación solar y la temperatura del suelo se hace más elevada que la del aire; así, se establece una corriente que sube por las montañas o colinas en días soleados. En la noche se produce un proceso inverso: el aire desciende de las montañas a los valles.

También existen vientos locales de carácter fuerte, los cuales pueden tener efectos devastadores. En general, en el trópico y en Colombia en particular, los factores descritos anteriormente tienen gran preponderancia en el aporte de humedad, en la generación de movimientos verticales y en la formación de nubes convectivas. Estas condiciones provocan chubascos o tormentas, especialmente por la tarde, y pueden estar acompañados de vientos violentos de corta duración, cuyas velocidades en ocasiones pueden superar los 100 km/h.

En las regiones planas, como la llanura del Caribe, la Orinoquia y la Amazonia, se observan patrones de circulación bien definidos en el transcurso del año, influenciados directamente por los vientos alisios. En contraste en los valles interandinos y en las zonas montañosas, aunque se percibe una ligera influencia de los alisios, las condiciones fisiográficas determinan en gran parte la dirección y velocidad del viento.

En la región Pacífica, el comportamiento del viento presenta particularidades en la dirección. Los vientos alisios del sureste del océano Pacífico cruzan el

ecuador durante gran parte del año, y debido a la acción de la fuerza de Coriolis, la desviación del viento tiene una componente oeste, presentándose circulaciones permanentes que se dirigen del océano hacia el litoral colombiano.

La rosa de vientos es la representación gráfica del comportamiento de la velocidad y dirección del viento. Como se puede apreciar en la figura 5, el gráfico ha sido dividido en ocho direcciones (N, NE, E, SE, S, SW, W, y NW) que son indicadores de donde proviene el viento y representados por barras dirigidas hacia el centro. Igualmente, para la velocidad se utilizan los ocho rangos recomendados por la Organización Meteorológica Mundial: se representan sobre las mismas barras indicadoras de la dirección, diferenciados por la variación del ancho de las barras, tal como se describe en las convenciones.

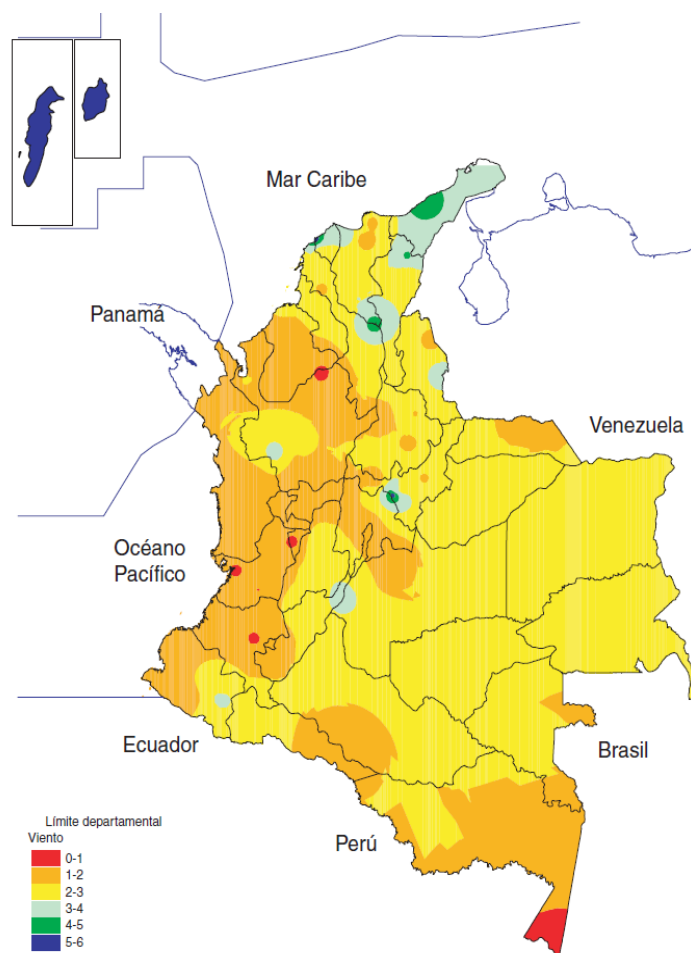


Figura 3: Mapa del viento medio en Colombia. Fuente: IDEAM

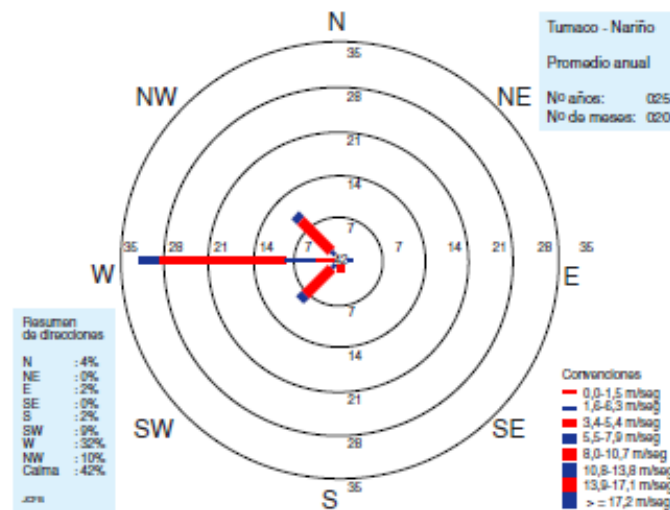


Figura 4: Rosa de los Vientos multianual de Tumaco-Nariño. Fuente: IDEAM

3. Climatología en la zona de estudio

Como se observa en la figura 5, la zona de estudio se puede clasificar como muy fría y húmeda.

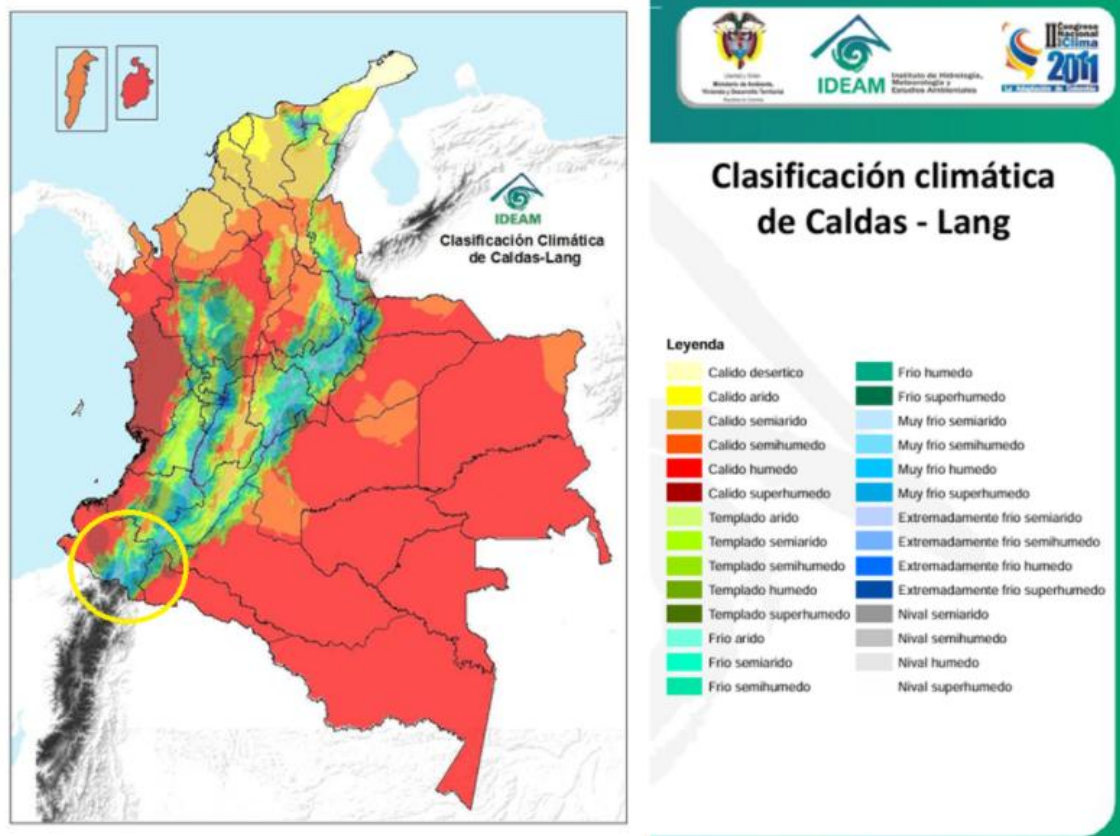


Figura 5: Clasificación Climática de Caldas-Lang. Fuente: IDEAM

Sin embargo, la vereda Santa Isabel se encuentra en una posición particular, ya que el humedal de La Cocha se encuentra en el límite de la región andina con la amazónica (perteneciendo a esta última). Además, nos encontramos en una región montañosa (se ubica sobre el cordón montañoso de Los Andes).

Por todo lo anterior, se trata de un sector con una alta variabilidad en cuanto a sus parámetros climatológicos. Por ejemplo, la ciudad de San Juan de Pasto (cabecera del municipio al que pertenece Santa Isabel) se encuentra a 25 km del emplazamiento de la futura obra y sus datos son los que se exponen en la figura 6.

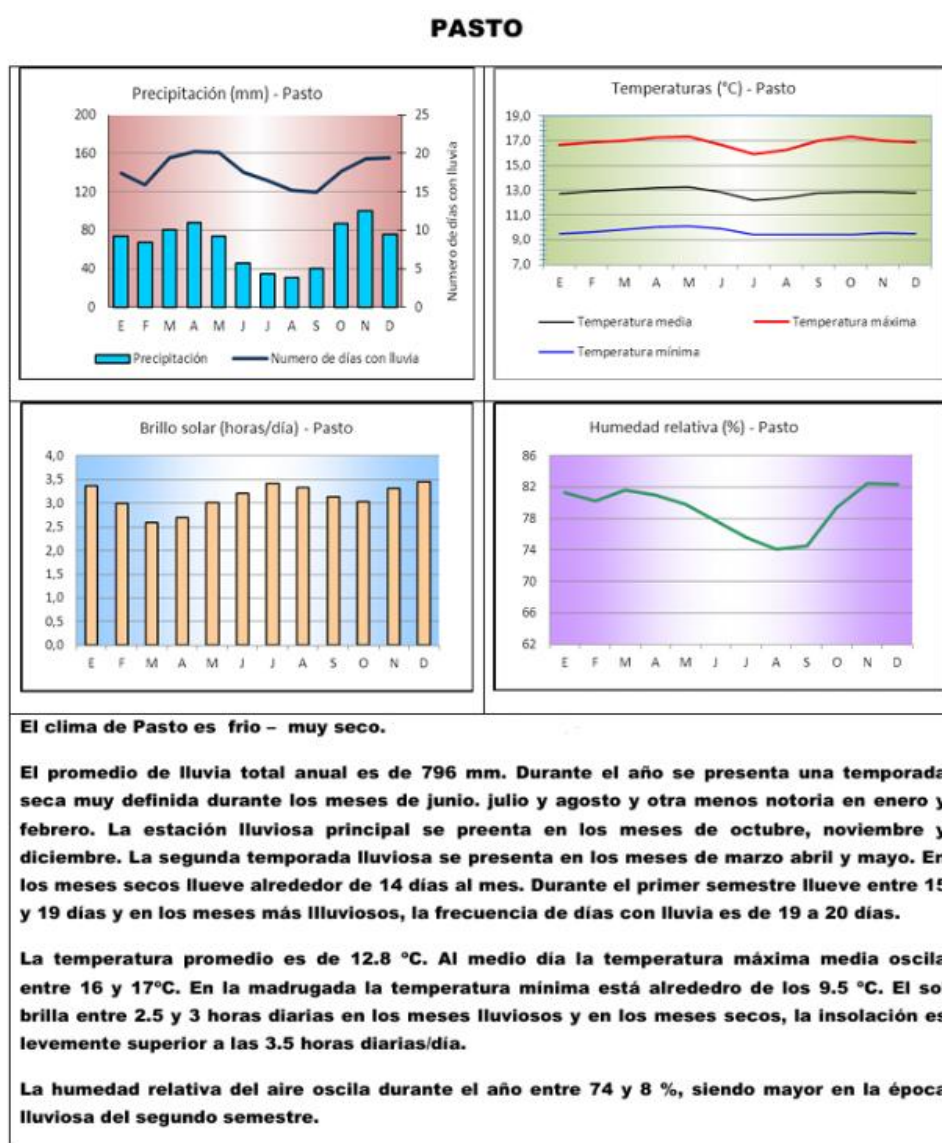


Figura 6: Datos climatológicos de la Ciudad de Pasto. Fuente: IDEAM

Sin embargo, la situación cambia al acercarse a la vereda Santa Isabel. El régimen de distribución de las lluvias a lo largo del año presenta una época de intensas precipitaciones de abril a agosto y una época de pocas lluvias en los meses de octubre a marzo. La cuenca alta del Río Guamuez a la que pertenece el humedal Laguna de La Cocha registra precipitaciones anuales que oscilan entre 1.000 y 2.000 mm, con los valores más bajos hacia el noroeste de la Laguna de La Cocha (zona del El Encano) aumentando hacia el sureste (Santa Isabel) con 1500 a 2000 mm.

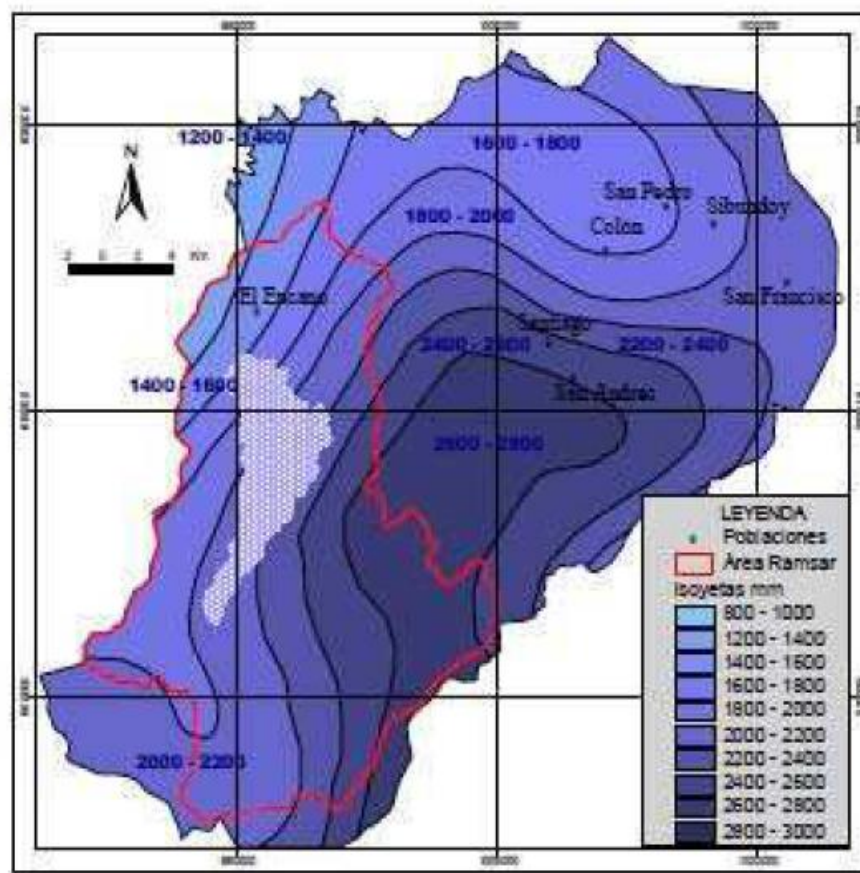


Figura 7: Isoyetas, Humedal La Cocha. Fuente: IDEAM

Para el Complejo de Humedales Laguna de La Cocha, la temperatura ambiente media anual es de 13.4 °C, con un máximo medio mensual de 14.3°C en el mes de Noviembre; mínimo medio mensual de 13 °C en el mes de Agosto, presentando una variación anual inferior a los 2°C, siendo esta básicamente relacionada con la baja variación de la radiación solar que se presenta en el área de estudio de acuerdo a las diferentes épocas del año.

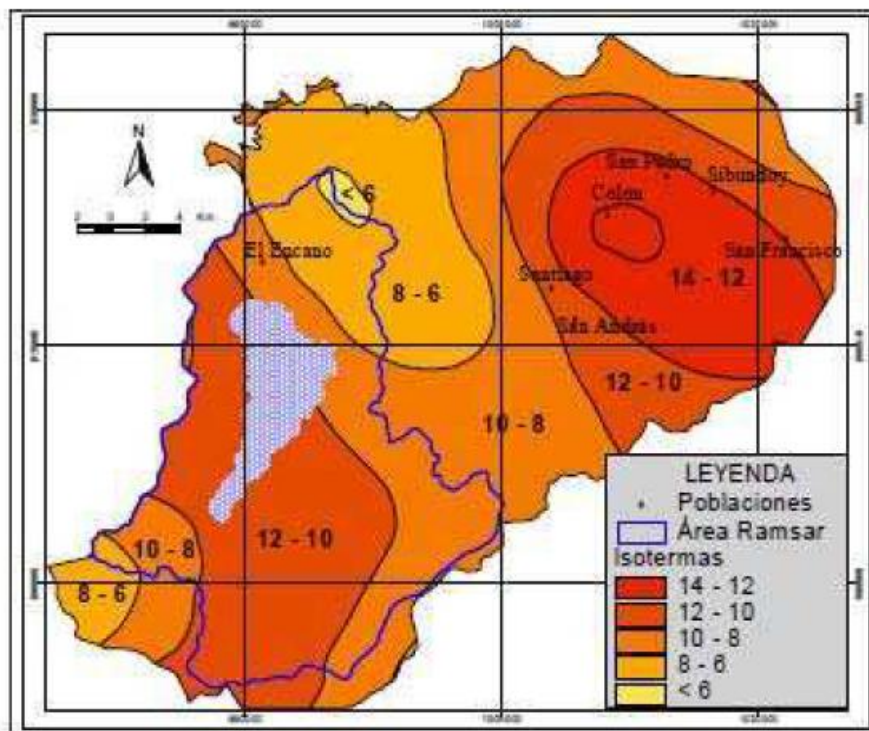


Figura 8: Isotermas, Humedal La Cocha. Fuente: IDEAM

Considerando la humedad relativa de la zona, en la cuenca del Río Guamuez la distribución anual muestra un período de mayor humedad durante 4 meses del año. Los valores máximos se registran entre junio y julio, con una humedad relativa del 91% mientras que los valores mínimos ocurren entre octubre y marzo con un valor del 78%.

Por último, se debe mencionar que el clima de esta ecorregión está fuertemente influenciado por las corrientes de aire que actúan sobre ella. Los vientos del Suroeste soplan desde el trópico hacia el ecuador transportando humedad que se deposita sobre la cordillera Centro Oriental, lo que contribuye a moderar del régimen de lluvias entre los meses de julio y agosto.

Por otra parte, una masa continental o corriente atmosférica amazónica muy húmeda choca con las altas montañas precipitándose y causando cambios de temperatura, especialmente en las laderas circundantes a la Laguna de La Cocha y en los valles cercanos a la zona. Este fenómeno ocasiona importantes cambios climáticos porque aumenta la precipitación.

La estación climatológica El Encano reporta para el área del humedal una velocidad media anual de 2 m/s, registrando valores máximos medios

mensuales entre los meses de junio y septiembre, con un valor máximo medio mensual de 2.6 m/s en los meses de junio y julio, y con mínimos entre los meses de octubre a marzo, siendo el valor mínimo medio mensual de 1.7 m/s para el mes de febrero.

4. Referencias

Google LLC. (s.f.). *Google Earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/>

IDEAM. (2001). *Colombia: una nación ambientalmente diversa*. Bogotá.

IDEAM. (2024). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.
Obtenido de <https://www.ideam.gov.co/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2015). Obtenido de
<https://www.igac.gov.co/>

ANEJO N°5: DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

ÍNDICE

1. Objeto	3
2. Situación Actual de Colombia.....	3
2.1. Generalidades	3
2.2. Aspectos Culturales	3
2.3. Aspectos Económicos	4
2.3.1. Pobreza y Desigualdad.....	4
2.4. Situación del abastecimiento y saneamiento de agua a nivel nacional.....	4
3. Situación Actual de la Vereda Santa Isabel	5
3.1. Generalidades	5
3.2. Dimensión Social.....	5
3.2. Dimensión Económica	6
3.3. Dimensión Ambiental	7
4. Situación Actual del Abastecimiento y Saneamiento de Aguas en la Vereda Santa Isabel	8
5. Problemática de la Población.....	9
6. Tareas realizadas en la visita a campo	10
7. Referencias.....	11

1. Objeto

El objeto de este anejo es el de realizar una descripción de la situación actual de la Vereda Santa Isabel, La Cocha, Pasto.

Para esto, se describirá también la problemática que se pretende abordar en el presente proyecto.

Esto es fundamental para entender la razón de ser de este Trabajo Fin de Grado en Cooperación Internacional, que se centra en el Objetivo de Desarrollo Sostenible N°6 "Agua Potable y Saneamiento" de la Agenda 2030.

2. Situación Actual de Colombia

2.1. Generalidades

Colombia es un país ubicado en el extremo noroccidental de América del Sur. Limita al norte con el mar Caribe, al este con Venezuela y Brasil, al sur con Perú y Ecuador, y al oeste con Panamá y el océano Pacífico. Con una superficie de más de 1,1 millones de kilómetros cuadrados, es el cuarto país más grande de América Latina y uno de los más biodiversos del mundo. Su territorio incluye tres grandes cordilleras andinas, extensas regiones selváticas, costas en dos océanos, y una altiplanicie central donde se concentran las principales ciudades. Bogotá, su capital, se sitúa en el altiplano cundiboyacense y es el centro político, económico y cultural de la nación. Con una población cercana a los 52 millones de habitantes, Colombia se caracteriza por una gran diversidad cultural, geográfica y climática, lo que representa tanto una riqueza como un desafío para el desarrollo sostenible.

2.2. Aspectos Culturales

Colombia es una nación considerablemente multicultural. En su población conviven descendientes de pueblos indígenas, afrocolombianos, mestizos y criollos. Existen 115 pueblos indígenas reconocidos, muchos de ellos con lenguas y tradiciones propias, y una importante población afrodescendiente, sobre todo en las regiones del Pacífico y el Caribe. La diversidad se refleja también en las expresiones culturales: la música, la danza, la gastronomía y las festividades varían notablemente entre regiones. Sin embargo, esta riqueza cultural convive con marcadas desigualdades sociales y territoriales, donde ciertas poblaciones, en especial las rurales e indígenas, enfrentan mayores niveles de exclusión, pobreza y violencia estructural.

2.3. Aspectos Económicos

La economía colombiana es la cuarta más grande de América Latina. Se trata de una economía emergente de ingresos medios-altos, con una estructura productiva basada en la exportación de materias primas como petróleo, carbón, café y flores, y un creciente sector de servicios. En los últimos años ha mostrado signos de recuperación tras los impactos de la pandemia del COVID-19, con una tasa de crecimiento proyectada de alrededor del 2,4 % para 2025. No obstante, la economía aún depende en gran medida de las exportaciones de hidrocarburos, lo cual la hace vulnerable a las fluctuaciones del mercado internacional. La informalidad laboral, que afecta a cerca del 47 % de la fuerza de trabajo, y la baja productividad en sectores rurales y periféricos, continúan siendo desafíos estructurales. A pesar de avances en cobertura educativa y tecnológica, las brechas económicas entre regiones persisten, siendo las zonas rurales especialmente desfavorecidas frente a los grandes núcleos urbanos como Bogotá, Medellín, Cali, entre otros.

2.3.1. Pobreza y Desigualdad

La pobreza, tanto monetaria como multidimensional, sigue siendo uno de los principales retos del país. Aunque las cifras han mejorado ligeramente en los últimos años, se estima que más del 30 % de la población vive bajo la línea de pobreza monetaria, mientras que en zonas rurales este porcentaje puede superar el 45 %. La pobreza multidimensional, que incluye variables como educación, salud, empleo y acceso a servicios básicos, afecta especialmente a comunidades indígenas y habitantes rurales. La violencia armada, los desplazamientos forzados, el desempleo juvenil y el acceso limitado a oportunidades económicas y educativas perpetúan un ciclo de exclusión. Estos aspectos mencionados han sido de relevancia en la zona de estudio (La Cocha).

2.4. Situación del abastecimiento y saneamiento de agua a nivel nacional

Colombia es un país privilegiado en términos de recursos hídricos. Cuenta con una disponibilidad media anual per cápita superior a los 40.000 m³, siendo una de las más altas del mundo. No obstante, esta abundancia está distribuida de forma desigual, y muchas zonas rurales e indígenas enfrentan dificultades significativas de acceso a agua potable segura.

A nivel nacional, aproximadamente el 92 % de la población accede a fuentes mejoradas de agua, pero solo el 72 % tiene acceso efectivo a agua potable tratada. La cobertura de saneamiento básico es del 86 %, pero en áreas rurales este porcentaje puede ser considerablemente más bajo, como se verá más adelante para la zona de estudio de este proyecto.

Uno de los problemas más graves es el bajo nivel de tratamiento de aguas residuales: se estima que solo una cuarta parte del total recibe tratamiento adecuado antes de ser vertida a cuerpos de agua. Las deficiencias en la infraestructura, la dispersión de la población rural y los efectos del cambio climático agravan este panorama. En los últimos años, se han implementado programas con apoyo de agencias internacionales para mejorar la cobertura y sostenibilidad del servicio, pero los desafíos técnicos, institucionales y sociales siguen siendo significativos.

3. Situación Actual de la Vereda Santa Isabel

3.1. Generalidades

La vereda Santa Isabel se encuentra en el corregimiento del Encano, este se ubica al Sur Oriente del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño. Este Corregimiento es centro de diversidad estratégico del Sur Oriente Colombiano, se encuentra localizado a los 0° 53' 28.55" 1° 20' 36.40" latitud N y 76° 14' 17.37" 77° 14' 17.37" longitud este. Esta área es rica en diversidad de especies y recursos hídricos de la cuenca amazónica. Limita al Norte con el Municipio de Buesaco y el Corregimiento de La Laguna; al Sur con el Municipio de Funes y el Departamento de Putumayo; al Occidente con los Corregimientos de Catambuco y Santa Bárbara y al Oriente con el Departamento del Putumayo.

La vereda Santa Isabel es la última vereda de La Cocha, ubicada en la parte septentrional del lago, la conforman alrededor de 28 familias sumando un total de 108 personas aproximadamente, dedicadas especialmente a la tala y carboneo, agricultura, ganadería y turismo. El paisaje está conformado por bosque altoandino en las laderas y en los cerros y en la parte baja o la cuenca, por el páramo de tipo azonal, ya que está por debajo del límite altitudinal del bosque.

3.2. Dimensión Social

La comunidad de Santa Isabel está compuesta por 28 familias. Están distribuidas en 25 casas que conforman la Vereda Santa Isabel.

Se realizaron entrevistas a todas las familias integrantes de la comunidad, dando un total de 108 personas distribuidas así:

- 46 Hombres
- 33 Mujeres
- 29 Niños

En cuanto al trabajo, se menciona que son familias que se dedican a actividades agropecuarias y jornaleras. Entre ellas destacan el cultivo de patatas y cría de cuyes que luego venden en la ciudad para obtener ingresos.

La educación en la vereda de Santa Isabel se compone únicamente encuentra la Escuela Rural Mixta Santa Isabel, que dicta o forma hasta 5° de primaria, para cursar secundaria y bachillerato los jóvenes tiene que ir a la Institución Educativa Municipal El Encano, compuesta del nivel de escolarización de primaria, secundaria y bachillerato. Para recibir formación universitaria, los jóvenes se ven obligados a desplazarse a la Ciudad de Pasto, ubicada a aproximadamente 2 horas. Además, se debe mencionar que los alumnos que llegan a la universidad son muy reducidos y, en el caso de hacerlo, optan por quedarse en la ciudad, a consecuencia de su mejor calidad de vida.

Por último, el Corregimiento del Encano cuenta con un Centro de Salud con servicio de atención primaria. Dicho centro de salud, según la percepción de la comunidad, presenta una serie de falencias relacionadas con la falta de presencia del equipo médico, infraestructura en mal estado, inadecuada iluminación que afecta las labores del personal técnico e incapacidad de cubrir a toda la población que depende de este.

3.2. Dimensión Económica

Las actividades relacionadas con la agricultura mediante la cual gran parte de las familias sustentan su economía, se basa en el cultivo de patatas, cebolla, hortalizas y frutales. Además, existe un vivero para el cultivo de plantas y flores que se venden en el Encano o en la Ciudad de Pasto.

Además, algunas familias se dedican a la pesca de trucha para consumo propio principalmente. También existen pequeñas iniciativas relacionadas

con la apicultura y el procesamiento de productos derivados de la piel que se produce para su comercialización en la ciudad.

Una de las actividades más relevantes es la relacionada con la producción de carbón vegetal, actividad que se encuentra prohibida pero que muchas familias tienen como único sustento económico.

Por último, hay una familia que esporádicamente realiza guías turísticas en los que se muestra las bellezas que se esconden en Santa Isabel y sus páramos.

3.3. Dimensión Ambiental

Esta zona se caracteriza por su localización en una región de alta montaña andina, con altitudes de aproximadamente 2800 metros sobre el nivel del mar. En este sector confluyen dos ecosistemas fundamentales para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad: el páramo azonal y el bosque altoandino.

Los páramos azonales son una variante particular del ecosistema de páramo, en los que no se presenta la transición ecológica típica entre bosque andino y páramo. Se trata de áreas en las que, debido a condiciones geológicas, de altitud y temperatura, se desarrollan comunidades vegetales típicamente paramunas sin presencia previa de bosque. En Santa Isabel, estas zonas contienen especies propias como frailejones, gramíneas de altura y musgos con alta capacidad de retención de agua.

El entorno está marcado por una diversidad biológica considerable. Estudios recientes registran al menos 13 especies de anfibios y reptiles distribuidas entre el páramo y el bosque altoandino.

Las prácticas agrícolas tradicionales, generan riesgos de erosión, pérdida de suelo y sedimentación en los cuerpos de agua cercanos. La vulnerabilidad ambiental se ve agravada por la dependencia de los recursos hídricos locales y la exposición a fenómenos climáticos. De hecho, el territorio ha sido clasificado como de alta susceptibilidad frente al cambio climático, lo cual exige medidas de planificación ambiental rigurosas, especialmente para la ubicación de infraestructuras como plantas de tratamiento de aguas residuales.

Por su parte, el Humedal de la Laguna de La Cocha, constituye uno de los sistemas hídricos más importantes de la región andina colombiana, siendo

el segundo cuerpo de agua más grande del país. Se trata de un lago con una superficie cercana a los 42 km² y una profundidad máxima que supera los 70 metros. Desde el año 2000, la laguna y su entorno inmediato han sido reconocidos como sitio Ramsar, es decir, como humedal de importancia internacional. Esta designación subraya su rol como reservorio de biodiversidad, regulador hidrológico y espacio de gran valor cultural para las comunidades indígenas y campesinas del sur de Nariño.

La Cocha se alimenta de al menos 17 afluentes, entre ellos los ríos Encano, Santa Lucía y Motilón, y sus aguas drenan hacia el río Guamuez, tributario del Putumayo y del Amazonas. Las precipitaciones oscilan cerca de los 1500 milímetros anuales en su parte norte mientras que al sur se acerca más a los 1000 milímetros anuales, y temperaturas promedio de 12 °C.

La Cocha enfrenta diversas amenazas ambientales. Entre las más destacadas se encuentran la extracción de madera para carboneo, la acumulación de sedimentos producto de la deforestación y la agricultura, y la contaminación microbiológica, producto de la cría de truchas en jaula flotante. Estas presiones alteran los microhábitats ribereños y afectan tanto la biodiversidad acuática como los servicios ecosistémicos que presta el humedal a las comunidades. Cabe destacar que el entorno de la laguna está conformado por más de 30 reservas naturales privadas, así como el santuario de fauna y flora de la Isla La Corota, que protege una de las pocas áreas de bosque altoandino intacto en la región.

4. Situación Actual del Abastecimiento y Saneamiento de Aguas en la Vereda Santa Isabel

En cuanto al abastecimiento, la Vereda cuenta con la Junta Administradora del Acueducto de Santa Isabel, la cual abastece de agua a las viviendas ubicadas en el “núcleo urbano”. Sin embargo, este acueducto se encuentra en mal estado: el agua llega con poca presión y en muchas ocasiones con suciedad (barro, lombrices, etc.). Algunas familias cuentan con pequeñas bombas para aumentar la presión y así poder utilizar el agua para duchas, baños y otras necesidades domésticas.

Por su parte, el saneamiento es prácticamente inexistente. No existe sistema de alcantarillado y algunas viviendas disponen únicamente de fosas sépticas rudimentarias. Esta grave deficiencia en materia de saneamiento es la que

motiva el presente proyecto, ya que esto acarrea dos grandes problemas: riesgos para la salud de la población y contaminación del entorno.

Durante la visita a la comunidad, gran parte de los habitantes manifestó que frecuentemente padecen enfermedades asociadas a la deficiente gestión de las aguas residuales, pues estas se vierten en los arroyos, en ocasiones estancados, que, a su vez, suelen ser utilizados para diversas tareas domésticas, como el lavado de ropa.

Por otra parte, estos vertidos están contaminando de manera significativa el río Guamuez, cuyo cauce atraviesa la Vereda y el cual es afluente del Amazonas. Cabe resaltar que el área donde se ubica la Vereda Santa Isabel es altamente sensible, pues es parte del Humedal Ramsar La Cocha.

En relación al manejo de residuos sólidos, algunas casas reciclan una parte de sus desechos y, en ciertos casos los entierran en pozos excavados por los propios habitantes. Sin embargo, lo que predomina es la quema de estos residuos, generando alta contaminación.

5. Problemática de la Población

La problemática que se tiene actualmente en la vereda se puede resumir en los siguientes aspectos:

En primer lugar, es necesario incrementar el desarrollo y potenciar el sector turístico. Para ello, resulta fundamental mejorar las infraestructuras de transporte terrestre, ya que el costo del transporte en lancha hasta la Vereda es sumamente elevado.

En segundo lugar, el bajo nivel educativo y la alta tasa de deserción escolar, incrementa la situación de marginalidad de la población. Es necesario promover la educación y el acceso a nuevas tecnologías, sobre todo de comunicación, a los habitantes.

Otro aspecto crítico es la falta de alternativas económicas sostenibles, acordes con la condición estricta de conservación del territorio. Las principales actividades económicas que se desarrollan se encuentran prohibidas por la ley, debido a su alto impacto contaminante en un entorno tan frágil como el humedal Ramsar La Cocha, en especial los trabajos de obtención de carbón vegetal.

Adicionalmente, el abastecimiento de agua es de muy baja calidad, llega con escasa presión y presenta contaminantes que generan problemas de salud en la población.

Por último, y como eje central del presente proyecto, se encuentra la ausencia de un sistema de saneamiento adecuado. Para mitigar este problema se plantea el desarrollo de alternativas que permitan la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y su respectiva Red de Saneamiento.

Es importante destacar que, para las comunidades del Encano, la laguna no es solo un recurso hídrico, sino también un territorio espiritual, fuente de sustento económico y eje del turismo comunitario. En este sentido, cualquier intervención en su entorno, como la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, debe considerar no solo los aspectos técnicos, sino también la sensibilidad ecológica y sociocultural del sistema. La incorporación de tecnologías apropiadas, el tratamiento de los vertidos, y el diseño de sistemas de saneamiento adaptados al entorno rural son medidas fundamentales para garantizar la sostenibilidad y la preservación de este ecosistema.

6. Tareas realizadas en la visita a campo

Durante la visita a la Vereda Santa Isabel se llevaron a cabo distintas tareas de levantamiento de información y diagnóstico inicial, orientadas a comprender de manera integral la situación actual de la comunidad y su entorno. Entre las principales acciones desarrolladas se destacan:

- Entrevistas a las familias de la comunidad, con el fin de conocer en detalle su situación socioeconómica, los hábitos de consumo de agua, la disposición de las aguas residuales y las necesidades prioritarias manifestadas.
- Generación de una ortofoto mediante dron, que permitió obtener un conocimiento actualizado y preciso de la configuración territorial de la vereda.
- Inspección de los sistemas de vertido actualmente empleados por los habitantes, identificando puntos de descarga directa y prácticas habituales de disposición de aguas residuales.

- Revisión de los sistemas de depuración caseros y rudimentarios contruidos por los propios habitantes, evaluando su funcionamiento, limitaciones y grado de impacto ambiental.
- Análisis visual del suelo de la zona, con el fin de obtener una primera aproximación a sus características y posibles condicionantes para la implantación de infraestructuras.
- Identificación y análisis de emplazamientos potenciales para la ubicación de la PTAR, considerando criterios técnicos, ambientales y de accesibilidad.
- Georreferenciación con GPS de las cocinas y baños de cada vivienda, con el objetivo de disponer de una base de datos espacial detallada para el diseño del sistema de saneamiento.
- Familiarización con la ONG promotora del proyecto, sus líneas de actuación y proyectos en la zona, así como con la situación actual del humedal Ramsar La Cocha, espacio natural de gran relevancia ambiental y receptor indirecto de las descargas de la comunidad.

7. Referencias

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). *Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos*. Bogotá.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (s.f.). *Normas técnicas colombianas y guías*. Obtenido de <https://www.mincit.gov.co/minturismo/calidad-y-desarrollo-sostenible/calidad-turistica/normas-tecnicas-colombianas-y-guias>

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000*. Bogotá.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Colombia. (2021). *Plan de Gestión de Residuos para Obras Civiles*. Bogotá.



ANEJO N°6: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ÍNDICE

1. Objeto	6
2. Metodología	6
3. Descripción alternativas.....	9
3.1. Humedales Artificiales	10
3.1.1. Rendimientos de depuración	13
3.1.2. Superficie necesaria	13
3.1.3. Influencia de la Climatología	14
3.1.4. Influencia de las características del terreno	14
3.1.5. Complejidad de explotación y mantenimiento	14
3.1.6. Impactos ambientales	15
3.1.7. Costes.....	15
3.2. Lagunaje.....	16
3.2.1. Rendimientos de depuración	19
3.2.2. Superficie necesaria	19
3.2.3. Influencia de la Climatología	20
3.2.4. Influencia de las características del terreno	20
3.2.5. Complejidad de explotación y mantenimiento	20
3.2.6. Impactos ambientales	20
3.2.7. Costes.....	21
3.3. Filtros Intermitentes de Arena	22
3.3.1. Rendimientos de depuración	24
3.3.2. Superficie necesaria	24
3.3.3. Influencia de la Climatología	24
3.3.4. Influencia de las características del terreno	25
3.3.5. Complejidad de explotación y mantenimiento	25

3.3.6.	Impactos ambientales	25
3.3.7.	Costes.....	26
4.	Modelo de Decisión.....	27
5.	Referencias.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Límites de Vertido. Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.....	6
Figura 2: Análisis Multicriterio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX.....	7
Figura 3: Corte Transversal y Longitudinal de un Humedal Artificial de Flujo Superficial. Fuente: CEDEX.....	11
Figura 4: Cortes Longitudinales de HA de Flujo Subsuperficial Horizontal y Vertical. Fuente: CEDEX	12
Figura 5: Rendimientos de Depuración. Fuente: CEDEX	13
Figura 6: Superficie Necesaria por Habitante. Fuente: CEDEX	14
Figura 7: Costes por habitante. Fuente: CEDEX	15
Figura 8: Esquema de Tratamiento. Fuente: Elaboración propia.....	16
Figura 10: Esquema de Funcionamiento de una Laguna Facultativa. Fuente: CEDEX.....	18
Figura 9: Laguna de Maduración PTAR de Lantejuela (Sevilla, España). Fuente: CEDEX	18
Figura 11: Rendimientos de Depuración. Fuente: CEDEX	19
Figura 12: Superficie necesaria por habitante. Fuente: CEDEX	19
Figura 13: Coste por habitante. Fuente: CEDEX.....	21
Figura 14: Esquema de Tratamiento. Fuente: Elaboración propia	22
Figura 15: Filtros Intermitentes con y sin recirculación. Fuente: CEDEX	23
Figura 16: Rendimientos de Depuración. Fuente: CEDEX.....	24
Figura 17: Superficie necesaria por habitante. Fuente: CEDEX	24
Figura 18: Coste por habitante. Fuente: CEDEX.....	26
Figura 19: Esquema de Tratamiento. Fuente: CEDEX.....	27
Figura 20: Valoración de Tecnologías frente a los condicionantes. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 21: Peso asignado a cada condicionante. Fuente: Elaboración propia	28
Figura 22: Resultados del análisis de alternativas. Fuente: Elaboración Propia	29
Figura 23: Esquema Línea de Tratamiento. Fuente: CEDEX.....	29



1. Objeto

El objetivo del presente anejo es el de realizar un análisis objetivo de las tecnologías de depuración disponibles, a fin de elegir la más adecuada según los condicionantes del presente proyecto.

2. Metodología

El objetivo de la depuración es el de reducir la concentración de los contaminantes presentes en las aguas residuales a unos límites de vertido establecidos por la normativa local.

Estos límites se encuentran establecidos en la resolución 631/2015 en su artículo 8 y son los siguientes:

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD - ARND) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 Kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO) ¹	mg/L O ₂	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) ²	mg/L O ₂		90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SS ₂₀)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄) ³	mg/L		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L		Análisis y Reporte

Figura 1: Límites de Vertido. Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia

Para la toma de decisión de la alternativa a desarrollar se realizará un análisis multicriterio basado en la publicación del CEDEX “Selección de Tecnologías de Tratamiento”, el cual consiste en la sucesión de los pasos expuestos a continuación:

Análisis Multicriterio			
1	Establecimiento del contexto de la decisión		
2	Definición de los elementos del análisis		
	Objetivos del proyecto	Alternativas	Condicionantes
3	Recopilación de la información necesaria para valorar las alternativas		
4	Construcción del modelo de decisión		
	Seleccionar y estructurar los criterios	Asignar ponderaciones	Diseñar sistemas de valoración para cada criterio
5	Obtención y análisis de los resultados		
	Puntuaciones	Analizar la incertidumbre	Decisión

Figura 2: Análisis Multicriterio. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CEDEX

1. Contexto de la decisión

La obra del proyecto en cuestión se enmarca en la cooperación internacional y se enfoca en contribuir al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible N°6 de Agua y Saneamiento básico. De esta manera, se debe buscar minimizar los requerimientos económicos para su ejecución y mantenimiento.

2. Elementos de Análisis

- Objetivo: dotar de saneamiento básico a la comunidad en cuestión, minimizando los impactos ambientales, considerando la vulnerabilidad del Humedal en el que se sitúa la población.
- Alternativas: las alternativas analizables son innumerables. Por esto, se debe hacer una preselección considerando únicamente las que tienen posibilidades reales de ser la “óptima” a tal efecto.
 - Líneas de tratamiento: se conformará por la sucesión de tecnologías (o procesos unitarios) que, en su conjunto, formarán la instalación que dará solución al problema.

- Línea de agua: conformada por un pretratamiento y un tratamiento o sucesión de tratamientos posteriores
- Línea de lodos: depende de la calidad de los lodos provenientes de la línea de aguas y se pretende lograr los objetivos de sequedad, estabilidad e higienización de los lodos.
- Se debe considerar que los rendimientos globales de la PTAR se logran considerando cada una de las etapas del proyecto al ser dependiente cada proceso del anterior.
- En consonancia con lo mencionado en puntos anteriores, se debe tener en especial consideración el bajo presupuesto disponible. Además, existen otros condicionantes de tipo técnico como es la inestabilidad de la red eléctrica.

3. Recopilación de la información necesaria para valorar las alternativas

Se deben entonces, combinar dos aspectos:

- Alternativas de tratamiento disponibles
- Condicionantes locales y objetivos

4. Construcción del modelo de decisión

Para realizar la selección, se propone un doble proceso:

- Selección previa de las alternativas a valorar
- Modelo de decisión para valorar las alternativas preseleccionadas

Esto se realiza con el fin de evitar analizar alternativas que a priori se conoce que quedarán descartadas sin un análisis profundo.

En este contexto, se pueden desestimar los procesos de depuración de tipo intensivos, debido principalmente al consumo elevado de electricidad necesario para su funcionamiento., lo que es un condicionante en la zona de estudio ya que, a pesar de contar de conexión a la red eléctrica, esta se juzga poco fiable, pudiendo ocasionar fallos en el funcionamiento de la PTAR, además de, evidentemente, aumentar los costes de explotación. Adicionalmente, en términos generales, los métodos extensivos son más

sencillos de operar y mantener, ideal en este contexto donde no se cuenta con profesional cualificado para cubrir tales tareas.

Por su parte, para construir el modelo de decisión se debe estructurar los factores por ámbitos o criterios, para poder valorar adecuadamente la importancia de cada uno de ellos sobre la decisión final. También se deberán identificar y medir los atributos de las alternativas con los que se va a evaluar los criterios y establecer sistemas de puntuación para cada uno de ellos.

Finalmente, se propone un algoritmo para la integración de la información:

$$\text{Resultado } A_i = \sum_n^{j=1} P_j \cdot a_{ji}$$

Donde P son los pesos asignados a cada criterio y a son las valoraciones realizadas de cada línea de tratamiento para cada criterio.

5. Obtención y análisis de los resultados

Es interesante destacar que no tiene por qué existir una única solución. Si dos o más alternativas tienen valoraciones finales semejantes, a partir de la comparación de los aspectos en que más se diferencien o en base a algún criterio que se considere que tenga especial valor, que suele ser la preferencia del operador, se podrá tomar la decisión definitiva.

3. Descripción alternativas

Una vez establecido el método para la elección de alternativas, se describen los principales procesos analizados para este proyecto. Se extrae para este propósito una tabla con los métodos propuestos por el CEDEX.

Se describirán las alternativas a analizar por orden en la línea de tratamiento:

1. Obra de llegada y pretratamiento

En esta etapa no se considera necesario realizar un análisis exhaustivo de las alternativas, pues las propuestas por el CEDEX son lo suficientemente contundentes para aceptar su validez.

2. Tratamiento Primario

Análogamente al punto anterior, entre las tecnologías disponibles más utilizadas, se considerarán los tanques Imhoff, por su sencillez de construir, sus altos rendimientos y su adecuación para rangos de población tan bajos como este caso.

3. Tratamiento Secundario

Existen múltiples opciones entre las disponibles para realizar tratamientos secundarios a las aguas residuales. Los dos grandes grupos son: tecnologías intensivas y tecnologías extensivas.

Como se ha comentado anteriormente, solo se analizarán las tecnologías extensivas, que son las que reproducen los procesos de depuración “naturales” que se dan sin necesidad de aceleración a través de sofisticados mecanismos y requieren un bajo consumo energético. Por el contrario, las tecnologías intensivas requieren mecanismos más complejos y con necesidad de aporte de electricidad para garantizar su funcionamiento. Además, estas últimas tienen niveles de dificultad mayores a la hora de la explotación y el mantenimiento (se recuerda, que la PTAR en cuestión estará a cargo de un miembro de la comunidad que se haya designado y que no cuenta con capacitación suficiente para una correcta explotación y mantenimiento de procesos complejos)

Por esto, se analizarán en detalle 3 tipos diferentes de procesos extensivos, los cuales son recomendados por su amplia difusión en comunidades de este tipo, y de probado funcionamiento. Estos son:

- Humedales Artificiales
- Sistema de Lagunaje
- Filtros Intermitentes de Arena

3.1. Humedales Artificiales

Este tipo de sistema de depuración en el que se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar de forma natural en zonas húmedas. Se denominan “Humedales Artificiales” ya que el confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo y además se eligen el tipo de plantas que van a colonizarlo.

Para que se desarrollen los procesos físicos, químicos y biológicos deben interactuar, en este ecosistema, los siguientes elementos:

- El agua a tratar (afluente) que circula a través de un sustrato filtrante
- El sustrato que funciona como soporte a la vegetación y fija la población microbiana
- Las plantas emergentes acuáticas (macrófitas) que proporcionan superficie para la formación de películas bacterianas.

Los Humedales Artificiales se han clasificado tradicionalmente en dos tipologías en función del modelo de circulación del agua: superficial o subterránea. En los Humedales Artificiales de Flujo Superficial, el agua a tratar circula por encima del sustrato, mientras que, en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial, el agua recorre el humedal de forma subterránea, a través de los espacios intersticiales del lecho filtrante. En los Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HAFS) el agua discurre libremente por la superficie del sustrato donde se encuentran enraizadas las plantas, circulando alrededor de sus tallos y hojas, por lo que se encuentra expuesta directamente a la atmósfera. Estos humedales están constituidos por balsas

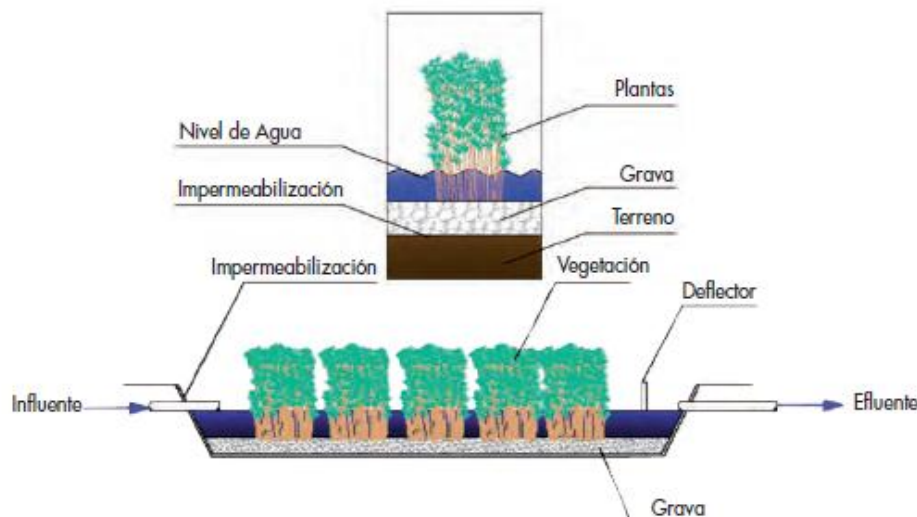


*Figura 3: Corte Transversal y Longitudinal de un Humedal Artificial de Flujo Superficial.
Fuente: CEDEX*

o canales con vegetación emergente y niveles de agua poco profundos (inferiores a 0,4 m). Los HAFS suelen ser instalaciones de varias hectáreas.

En los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) la circulación del agua es subterránea, a través de un medio granular (arena, gravilla, grava)

de permeabilidad suficiente, y en contacto con los rizomas y raíces de los macrófitos. Son generalmente instalaciones de menor tamaño que los de Flujo Superficial (lo cual, en muchos casos, supone un factor determinante).

Para comparar los dos tipos de humedal artificial, podemos nombrar:

- Olores: menor incidencia en los de flujo subsuperficial
- En los de flujo superficial existe riesgo de aparición de mosquitos
- Temperatura: se conserva mejor en los de flujo subsuperficial (especialmente relevante en climas fríos)
- Costes de construcción: los de flujo subsuperficial son más caros
- En los de flujo subsuperficial existe mayor riesgo de colmatación del lecho filtrante

Los de flujo subsuperficial se dividen a su vez en horizontales y verticales:

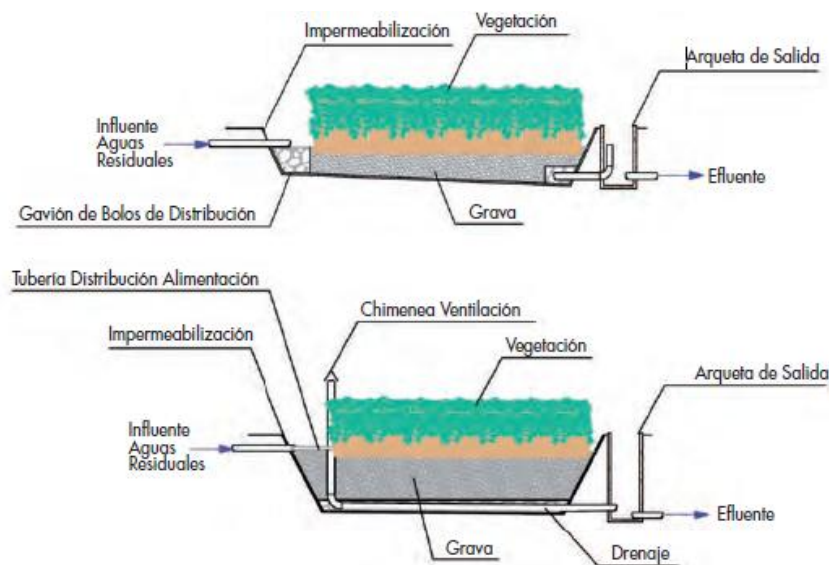


Figura 4: Cortes Longitudinales de HA de Flujo Subsuperficial Horizontal y Vertical.
Fuente: CEDEX

Por último y en términos generales, se pueden considerar como ventaja su reducido (o nulo) consumo energético y su sencillez operativa. Además, presenta costes de explotación y mantenimiento muy reducidos. En adición, generalmente la generación de malos olores es reducida y su impacto visual es prácticamente nulo.

Como principal inconveniente nos encontramos con que este tipo de tecnología requiere una gran superficie para su implantación (lo que además,

de ser un limitante técnico, puede ser también un limitante legal y económico). Además, existe riesgo de colmatación del sustrato.

Se debe mencionar que, según la bibliografía, los de flujo subsuperficial horizontal son los más adecuados para esta situación (población menor a 1000 habitantes equivalentes), por esto, en adelante, se hará referencia a este tipo de humedal en particular cuando se hable de Humedales Artificiales (HA).

A continuación, se describen la influencia de los principales condicionantes para realizar su posterior comparación con el resto de alternativas para lograr la decisión final.

3.1.1. Rendimientos de depuración

Parámetro	% Reducción	Efluente (mg/l)	% Reducción	Efluente (mg/l)
	Verticales		Horizontales	
Sólidos en suspensión	90-95	13-25	90-95	13-25
DBO ₅ (mg/l)	90-95	15-25	85-90	15-30
DQO (mg/l)	80-90	60-120	80-90	60-120
N-NH ₄ ⁺ (mg N/l)	60-70	9-12	20-25	22-24
N _{total} (mg N/l)	60-70	15-20	20-30	35-40
P _{total} (mg P/l)	20-30	7-8	20-30	7-8
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	1-2 u log	10 ⁵ -10 ⁶	1-2 u log	10 ⁵ -10 ⁶

Figura 5: Rendimientos de Depuración. Fuente: CEDEX

Esta tabla muestra los rendimientos tipo de los humedales artificiales y la calidad de sus efluentes para aguas residuales tipo.

3.1.2. Superficie necesaria

Los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal se dimensionan a razón de 5 m² por habitante equivalente servido, lo que se corresponde con una carga orgánica sobre el humedal de 8,7 g DBO₅/m².d, aceptando un rendimiento del 30% en la etapa de tratamiento primario.

En la bibliografía se propone la siguiente relación entre la población y la superficie por habitante, resultando, para los 123 habitantes de diseño, en 11,3m²/h.

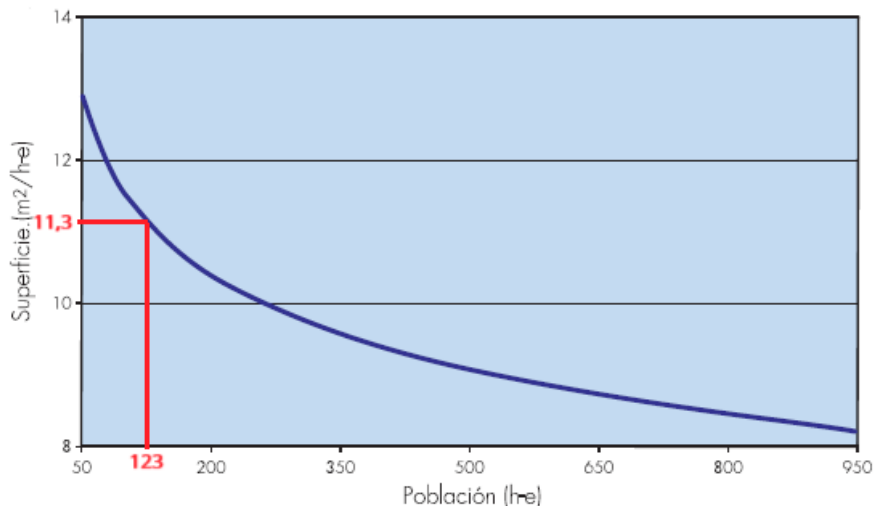


Figura 6: Superficie Necesaria por Habitante. Fuente: CEDEX

3.1.3. Influencia de la Climatología

El hecho de que las aguas a tratar no circulen en contacto con la atmósfera, y la protección térmica que ejerce la biomasa muerta que se va depositando sobre la superficie filtrante, contribuyen a minimizar el impacto de las bajas temperaturas sobre los rendimientos de depuración, por lo que se puede estimar que esta solución trabaja bien en climas fríos y de altitud como este.

Como temperatura de diseño, se suele tomar la temperatura media del mes más frío.

3.1.4. Influencia de las características del terreno

Los humedales se ejecutan excavando en el terreno. Por esto, es preferible que el terreno sea fácil de excavar y que el nivel freático sea bajo. Si bien el terreno es moderadamente blando (arcilloso), es cierto que el nivel freático se encuentra cercano a la superficie, debido a la presencia del río Guamuez y las precipitaciones de la zona.

3.1.5. Complejidad de explotación y mantenimiento

Las operaciones de explotación y mantenimiento de los Humedales Artificiales son muy simples. Estas se limitan a inspecciones rutinarias, limpieza de las rejillas de desbaste y desarenado, comprobación del correcto

reparto de las aguas sobre la superficie filtrante, limpieza del sistema de distribución, siega de la vegetación y al mantenimiento de la obra civil y los equipos instalados.

3.1.6. Impactos ambientales

El impacto sonoro es nulo o muy bajo, al poder operar los Humedales Artificiales sin la implantación de equipos electromecánicos, la potencia instalada es muy baja. Con relación a los impactos olfativos, la generación de olores en las fosas sépticas y tanques Imhoff, que se ubican en la cabecera de los Humedales de Flujo Subsuperficial, es muy pequeña y queda localizada en las inmediaciones de las chimeneas de ventilación. Puede reducirse este impacto colocando en estas chimeneas cartuchos de un material adsorbente, como puede ser la turba.

3.1.7. Costes

Análogamente, se utiliza la siguiente función propuesta por la bibliografía para obtener el coste de implantación del humedal por habitante, siendo, en

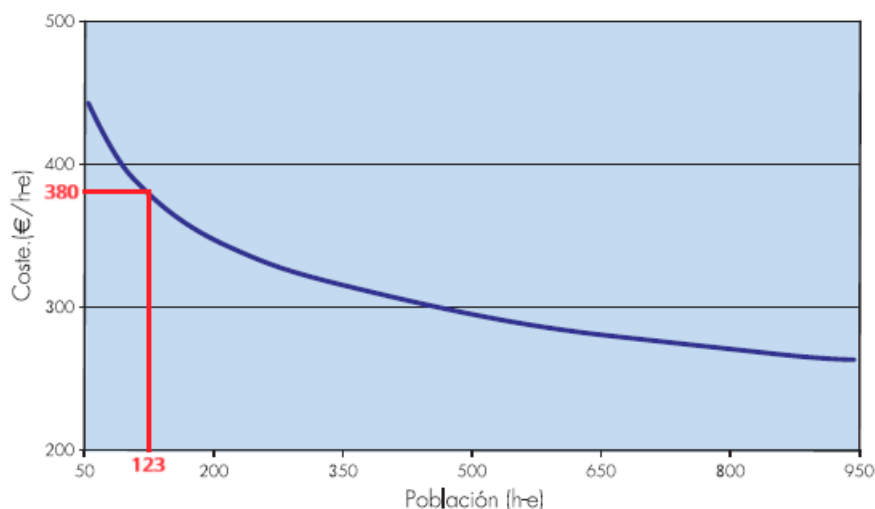


Figura 7: Costes por habitante. Fuente: CEDEX

este caso, de 380€/h.

Se debe mencionar que esta función toma en consideración las etapas previas de tratamiento. Así, este coste incluye:

- Canal de reja de gruesos de limpieza manual
- Desarenador de limpieza manual
- Tanque Imhoff prefabricado

- Impermeabilización del recinto con lámina polimérica

En realidad, este coste sirve únicamente como estimación y deberá ser desarrollado más adelante.

En la siguiente figura se puede apreciar el esquema de tratamiento que seguirían las aguas residuales aplicando esta alternativa:

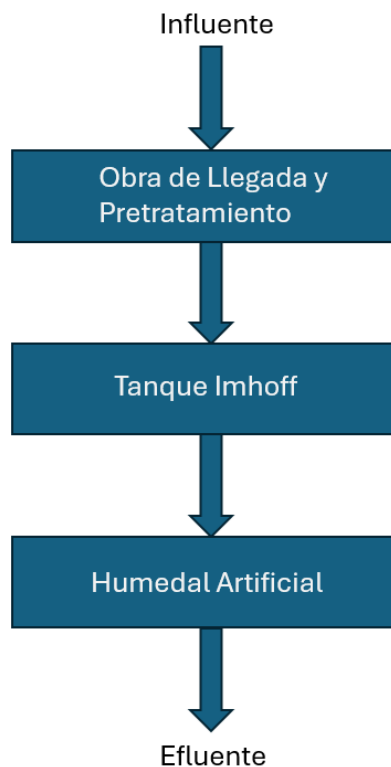


Figura 8: Esquema de Tratamiento. Fuente:
Elaboración propia

3.2. Lagunaje

La tecnología de Lagunaje consta de varias lagunas conectadas en serie, en las que la profundidad de las mismas va disminuyendo gradualmente, combinándose condiciones de ausencia y presencia de oxígeno, y en las que se reproducen los fenómenos de autodepuración que se dan de forma natural en los cursos naturales de agua. En cierta forma, podría definirse el Lagunaje como “un río compartimentado”, en el que la primera etapa anaerobia simula las condiciones que se dan en los cauces cuando se produce un vertido con una fuerte carga orgánica biodegradable, mientras que las etapas posteriores se asemejan a las situaciones que se van dando

aguas abajo del vertido, donde de forma natural se van recuperando las condiciones iniciales de la masa acuática.

Asimismo, el afluente va pasando por distintas lagunas las cuales, generalmente, son tres:

- **Lagunas Anaerobias:** profundas (3-5m) y suelen constituir la primera del proceso de lagunaje. las Lagunas Anaerobias tienen un doble objetivo: la reducción de la materia en suspensión (sedimentable y flotante) y la estabilización de los fangos acumulados en el fondo.
- **Lagunas Facultativas:** menos profundas (1,5-2m) y constituyen la segunda etapa del tratamiento. El principal objetivo que se persigue en la etapa facultativa es la biodegradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales a tratar, gracias al oxígeno aportado por la actividad fotosintética de las microalgas y, en menor medida, por fenómenos de reaeración superficial, promovidos por el viento, dada la gran extensión de este tipo de lagunas.
- **Lagunas de Maduración:** es la última por lo que soporta bajas cargas orgánicas. Son poco profundas (0,8-1m). En estas lagunas se consigue cierta eliminación de sólidos en suspensión, gracias a la acción filtradora de los organismos que proliferan en ellas y porcentajes muy altos de eliminación de organismos patógenos (como consecuencia de procesos de filtración, predación, efecto bactericida de la radiación UV, etc.), dando lugar a efluentes finales muy oxigenados.

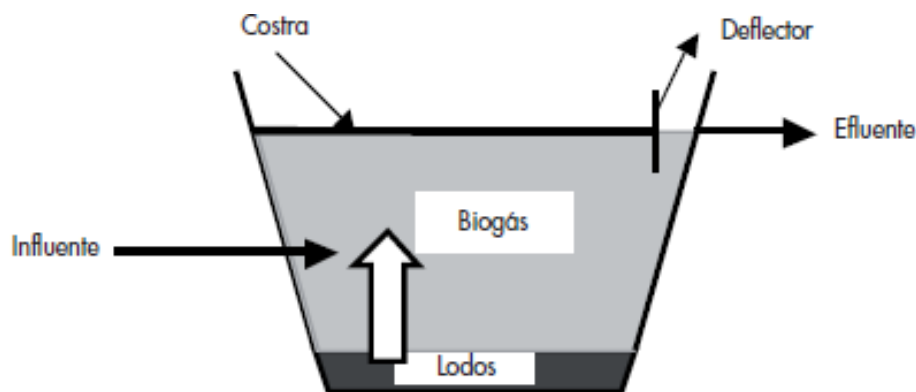


Figura 9: Esquema de Funcionamiento de una Laguna Anaerobia. Fuente: CEDEX



Figura 10: Laguna de Maduración PTAR de Lantejuela (Sevilla, España). Fuente: CEDEX

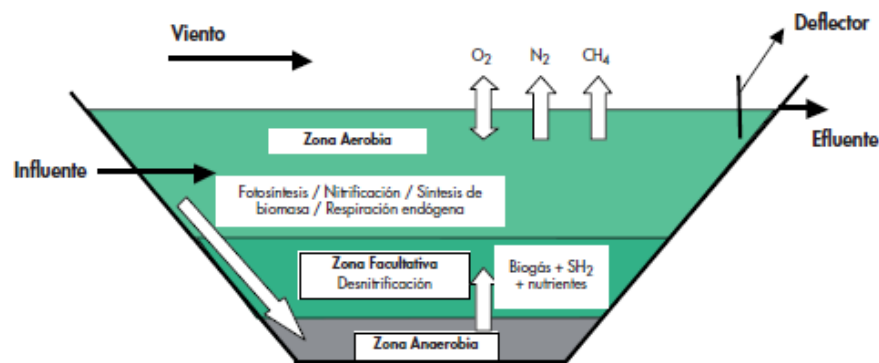


Figura 9: Esquema de Funcionamiento de una Laguna Facultativa. Fuente: CEDEX

Como ventajas, este sistema presenta facilidad constructiva y consumo energético prácticamente nulo. Además, trabaja con muy pocos equipos electromecánicos (reduce probabilidad de averías). Su mantenimiento es sencillo y no requiere personal cualificado. Buena integración medioambiental.

Sin embargo, presenta el inconveniente de que sus rendimientos se reducen en zonas frías o con poca radiación solar. Segundo, las lagunas anaerobias suelen general malos olores. Riesgo de contaminación de acuíferos si la impermeabilización del sistema no ha sido realizada correctamente. Por último, se menciona que requieren gran superficie para su implantación.

Se analizan más profundamente los condicionantes principales:

3.2.1. Rendimientos de depuración

La bibliografía propone los siguientes valores para unas aguas residuales tipo:

Parámetro	% de reducción				Concentración
	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna Maduración	Rendimientos globales	Efluente final (mg/l)
Sólidos en suspensión	50-60	0-70	35-40	40-80	50-150
DBO ₅	40-50	60-80	25-40	75-85	45-75
DQO	40-50	55-75	20-35	70-80	120-180
N-NH ₄ ⁺	–	20-60	15-25	30-70	9-21
N	5-10	30-60	15-50	40-80	10-30
P	0-5	0-30	30-45	30-60	4-7
Coliformes fecales	0,2-0,5 u log	2,2 u log	0,7-1,3 u log	3-4 u log	10 ³ -10 ⁴ UFC/100 ml

Figura 11: Rendimientos de Depuración. Fuente: CEDEX

3.2.2. Superficie necesaria

Esta tecnología se encuentra limitada a poblaciones pequeñas, preferiblemente a poblaciones menores a 1000 habitantes equivalentes, ya que presenta alta superficie necesaria, en este caso, 10,8m²/h

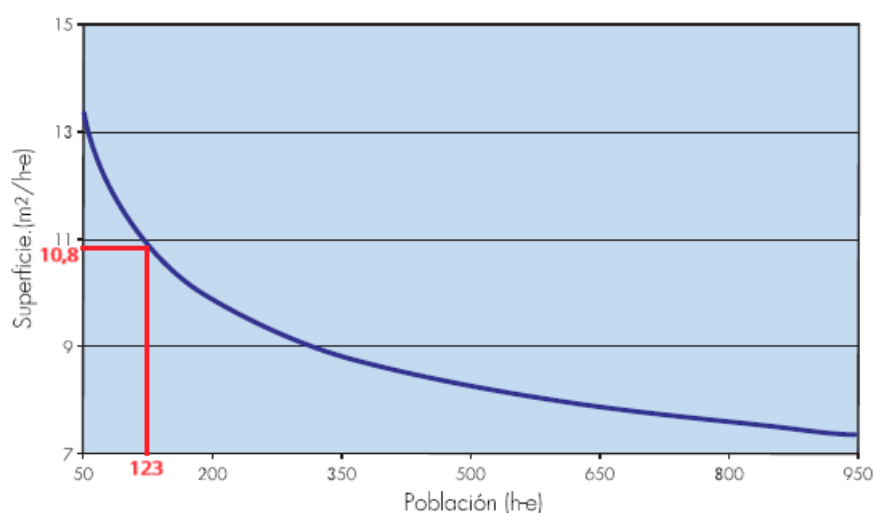


Figura 12: Superficie necesaria por habitante. Fuente: CEDEX

3.2.3. Influencia de la Climatología

El lagunaje es más sensible a la climatología del lugar si se lo compara, por ejemplo, con los humedales artificiales subsuperficiales. Se pueden considerar los siguientes factores:

- **Temperatura:** la temperatura determina la velocidad de las reacciones a nivel celular.
- **Viento:** contribuye a la oxigenación de las aguas vía reaeración superficial y favorece las condiciones de mezcla en las lagunas, evitando fenómenos de estratificación.
- **Radiación solar:** probablemente el factor más influyente en esta tecnología, pues de esta radiación depende en gran medida la actividad fotosintética de las microalgas y en la producción y concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua, a la vez que favorece la eliminación de organismos patógenos.
- **Precipitación:** favorece la oxigenación de la parte superficial de las lagunas, pero en ocasiones también puede provocar fenómenos de “vuelco” de la columna líquida, al enfriarse, súbitamente, la capa superficial.

3.2.4. Influencia de las características del terreno

La situación es igual a la que se tiene para los humedales artificiales. En otras palabras, el terreno más favorable para esta tecnología es aquel que es fácil de excavar y presenta nivel freático bajo, ya que se deben realizar excavaciones e impermeabilizar para implantar las lagunas.

3.2.5. Complejidad de explotación y mantenimiento

Las operaciones de explotación y mantenimiento del sistema de Lagunaje se limitan a inspecciones rutinarias, limpieza de las etapas del desbaste y desarenado, retirada de flotantes en las lagunas, extracción periódica de los lodos acumulados en el fondo de las Lagunas Anaerobias y al mantenimiento de la obra civil y de los equipos instalados.

3.2.6. Impactos ambientales

Los mayores impactos que se pueden mencionar en este tipo de tecnología son dos:

- Generación de malos olores

- Fuerte contaminación de las aguas subterráneas en caso de una deficiente impermeabilización de las lagunas (especialmente las anaerobias).

Sin embargo, las lagunas pueden crear hábitats para la proliferación de la vida, generando así, un impacto positivo.

3.2.7. Costes

El coste de implantación se estima en 560€/hab para 123 habitantes, según los valores propuestos por la bibliografía.

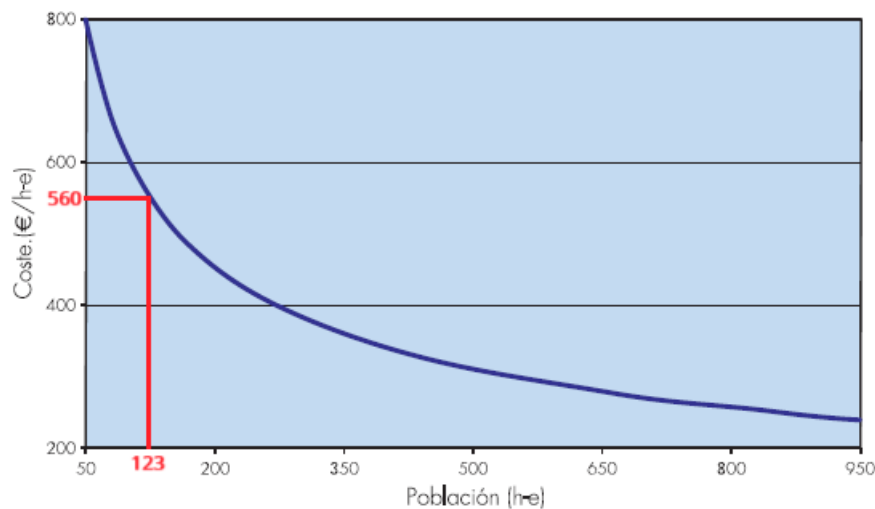


Figura 13: Coste por habitante. Fuente: CEDEX

El gráfico incluye los costes de:

- Costes de implantación de la obra de llegada y pretratamiento
- Lagunas de Anaerobia (en hormigón), Facultativa y de Maduración (ambas impermeabilizadas con láminas poliméricas)

El esquema del sistema de tratamiento es el siguiente:

Es importante resaltar que, aplicando el lagunaje, no es necesario disponer un Tanque Imhoff al salir del pretratamiento, pues la laguna anaerobia cumple las funciones que en las otras tecnologías a analizar corresponden al tratamiento primario.

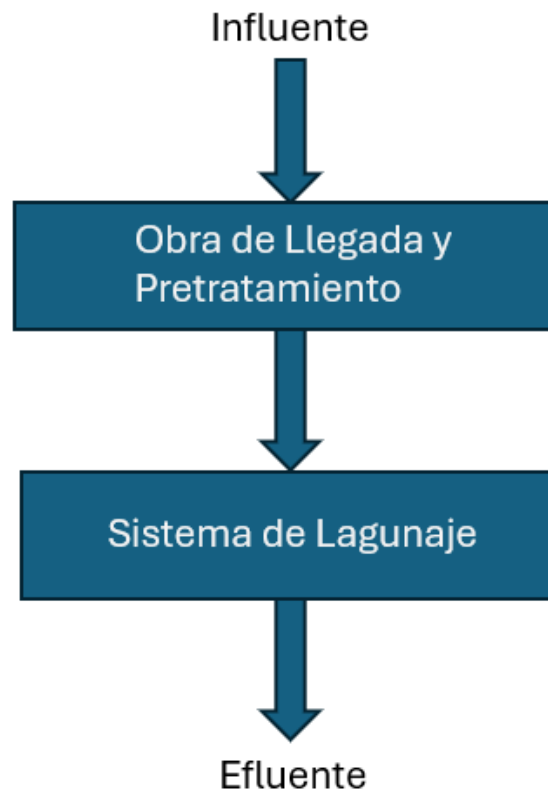


Figura 14: Esquema de Tratamiento. Fuente: Elaboración propia

3.3. Filtros Intermitentes de Arena

Este sistema de tratamiento consiste en lechos de aproximadamente 1 metro de profundidad dotados de un sistema superficial que se encarga de distribuir uniformemente sobre dicho lecho el agua residual a tratar. Además, posee un drenaje inferior con el objeto de recoger los efluentes tratados.

Es especialmente importante en la aplicación de esta tecnología que el pretratamiento y el tratamiento primario estén correctamente diseñados para evitar la colmatación del sustrato.

El mecanismo de funcionamiento se basa en tres procesos:

- La filtración en superficie. Aquí queda retenida la mayor parte del material en suspensión aún presente en las aguas residuales.

- La adsorción de los contaminantes solubles y coloidales presentes en las aguas sobre la superficie de la biopelícula, la cual se forma en torno a las partículas de arena.
- La oxidación biológica de la contaminación retenida y adsorbida, llevada a cabo por la biomasa que se encuentra adherida a las partículas del material filtrante

Dentro de las modalidades de filtros intermitentes de arena se pueden distinguir dos modalidades principales: Filtros sin recirculación y Filtros con recirculación.

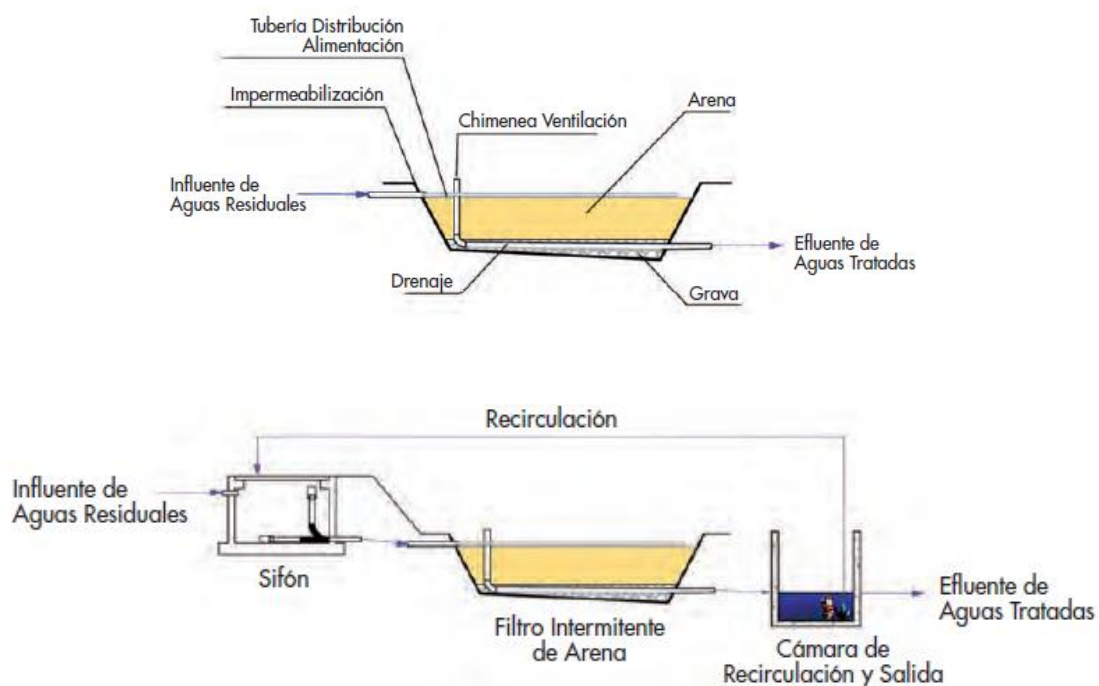


Figura 15: Filtros Intermitentes con y sin recirculación. Fuente: CEDEX

En este apartado se estudiará el primer tipo, pues este suele aplicarse cuando la población es menor, siendo aconsejable únicamente hasta 1000 habitantes.

En esta modalidad, el agua atraviesa el sustrato filtrante únicamente en una ocasión.

Para aplicar el agua a los filtros de manera intermitente se recurre al bombeo. Esto podría llegar a considerarse una desventaja si las aguas

provenientes de la red de saneamiento lo hicieran exclusivamente por gravedad.

A continuación, se analizan los principales condicionantes.

3.3.1. Rendimientos de depuración

La tabla siguiente, propuesta por la bibliografía, muestra los rendimientos de depuración de esta tipología.

Parámetro	% Reducción	Efluente final (mg/l)
Sólidos en suspensión	90-90	13-25
DBO ₅	90-95	15-25
DQO	80-90	60-120
N-NH ₄ ⁺	70-80	7-11
N	40-50	25-30
P	15-30	7-9
Coliformes fecales	2-3 u log	10 ⁴ -10 ⁵ (UFC/100ml)

Figura 16: Rendimientos de Depuración. Fuente: CEDEX

3.3.2. Superficie necesaria

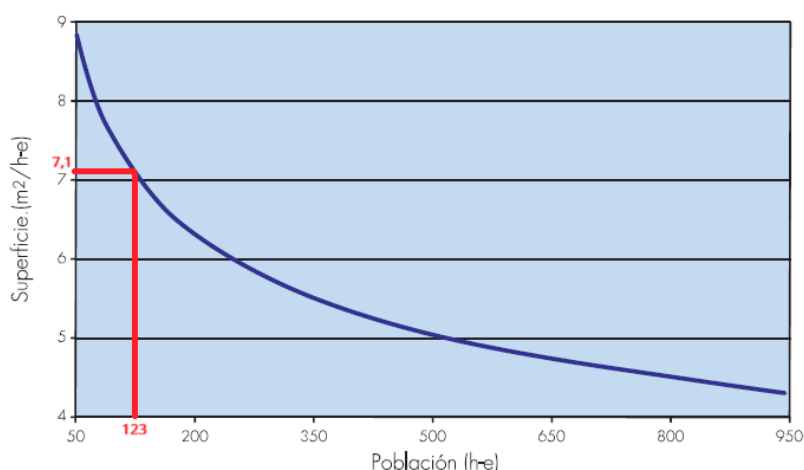


Figura 17: Superficie necesaria por habitante. Fuente: CEDEX

Se utilizan una vez más los valores propuestos por la bibliografía. Esta vez, la superficie requerida es de 7,1 m²/hab.

3.3.3. Influencia de la Climatología

El principal problema que podría traer la climatología está relacionado con la temperatura. Se recomienda que el sistema no este expuesto a

temperaturas menores a 5°C para evitar el congelamiento de las aguas en las tuberías.

3.3.4. Influencia de las características del terreno

De igual manera que los casos anteriores, al requerir gran superficie para su implantación, los terrenos fáciles de excavar y con el nivel freático bajo son aquellos idóneos para esta tecnología.

Al tener un nivel freático alto, se debe realizar una buena impermeabilización del lecho, para evitar así, filtraciones que pudieran contaminar las aguas subterráneas.

3.3.5. Complejidad de explotación y mantenimiento

Las operaciones de explotación y mantenimiento son, como en los casos anteriores, muy simples.

Se debe inspeccionar de manera rutinaria (al menos una vez por semana) y evacuar los residuos generados en las rejillas de desbaste y desarenadores. Además, se añade que se debe comprobar el correcto funcionamiento del sifón o bombeo para la alimentación intermitente y controlar el correcto reparto de las aguas a tratar sobre el sustrato filtrante, rastrillar la superficie de los filtros para evitar deformaciones del lecho que pudieran alterar o reducir su rendimiento y el mantenimiento general de la obra civil.

3.3.6. Impactos ambientales

Los impactos producidos con esta tecnología son sobre todo olfativos, sonoros por la utilización de equipos electromecánicos para el bombeo. Por su parte, los impactos visuales son reducidos al excavar en el terreno para la construcción de los filtros.

Se incide en la idea de una correcta impermeabilización para evitar filtraciones al terreno y el correcto mantenimiento de las tuberías para evitar roturas que pudieran contaminar los cuerpos de agua cercanos.

3.3.7. Costes

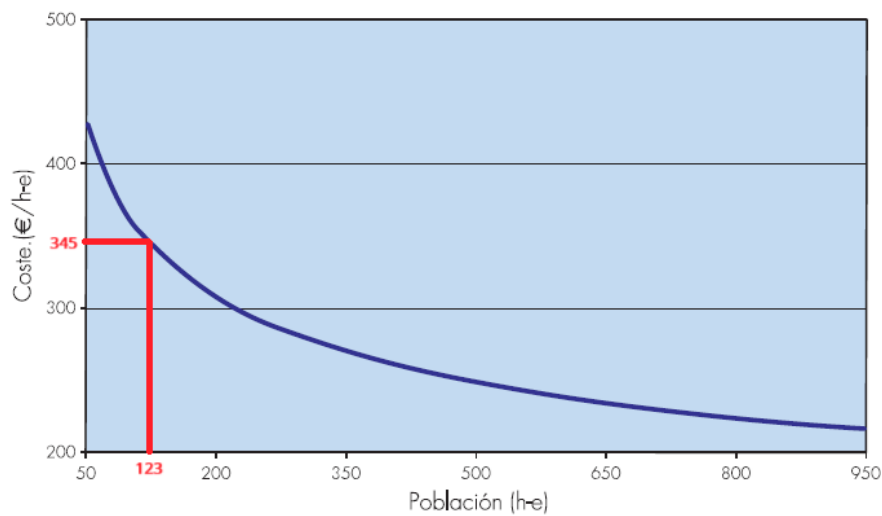


Figura 18: Coste por habitante. Fuente: CEDEX

Se observa que los costes son de 345€/hab para la población de diseño.

Estos costes incluyen:

- Costes asociados a la obra civil para el pretratamiento y obra de llegada
- Tanque Imhoff prefabricado
- Recinto de los filtros con lámina para impermeabilización

Como costes energéticos, se debe considerar el uso para el bombeo para lograr la alimentación intermitente de los filtros.

De igual manera a los casos anteriores, se muestra cómo sería la sucesión de tecnologías a aplicar:

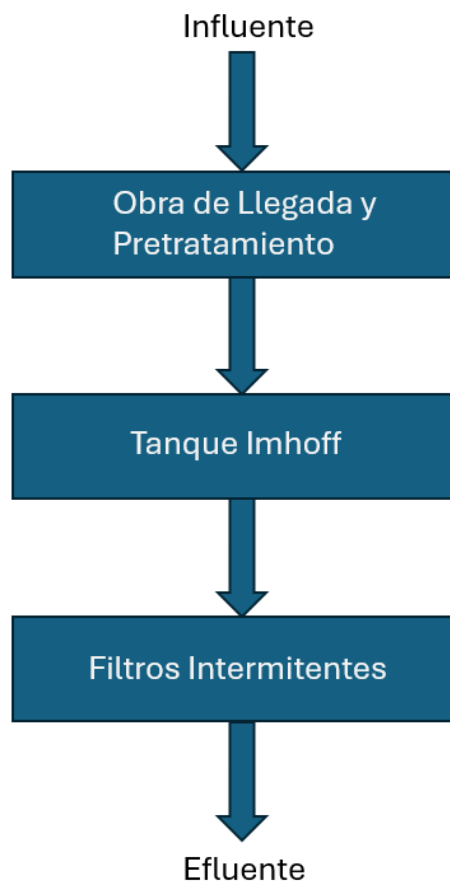


Figura 19: Esquema de Tratamiento. Fuente: CEDEX

4. Modelo de Decisión

Para llegar a una conclusión, se aplicará la ecuación anteriormente mencionada.

$$\text{Resultado } A_i = \sum_n^{j=1} P_j \cdot a_{ji}$$

Las valoraciones deben intentar mantener la mayor objetividad posible, evitando sesgos del proyectista (ejemplo, que le gusta más una opción que otra, la conoce mejor, etc.) y asignar valores a cada condicionante según las particularidades de cada alternativa y su integración con el medio.

La valoración para los rendimientos en la depuración de las aguas según los tres contaminantes más importantes es:

- Humedales Artificiales: 9
- Lagunaje: 7

- Filtros Intermitentes de Arenas: 10

La valoración de la respuesta de cada tecnología al respectivo condicionante se muestra en la siguiente tabla:

	Rendimiento (%)		Concentración efluente (mg/L)	Superficie necesaria	Influencia clima	Influencia terreno	Complejidad M&O	Impacto ambiental			Coste
								Olfativo	Visual	Cont. Aguas subt.	
Humedales Artificiales	DBO5	85-90	15-30	5	8	6	9	6	9	7	6
	DQO	80-90	60-120	(alta, 11.3m2/h)	(baja)	(moderada)	(muy baja)	(moderado)	(muy bajo)	(bajo)	(380€/hab)
	SS	90-95	13-25								
Lagunaje	DBO5	75-85	45-75	6	3	6	6	3	6	5	3
	DQO	70-80	120-180	(alta, 10.8m2/h)	(alta)	(moderada)	(moderada)	(alto)	(moderado)	(riesgo cont)	(560€/hab)
	SS	40-80	50-150								
Filtros Intermitentes Arena	DBO5	90-95	15-25	8	6	6	7	6	6	7	7
	DQO	80-90	60-120	(moderada, 7.1m2/h)	(moderada)	(moderada)	(baja)	(moderado)	(moderado)	(bajo)	(345€/hab)
	SS	90	13-25								

Figura 20: Valoración de Tecnologías frente a los condicionantes. Fuente: Elaboración propia

Para la asignación de los pesos de cada condicionante dentro de la ecuación, se ha considerado las particularidades de la comunidad y de su entorno. Por ejemplo, se le ha dado gran peso a la complejidad de explotación y mantenimiento, ya que esta estará a cargo de integrantes de la comunidad designados al efecto. Por esto, es conveniente que la tecnología a implementar sea de sencilla explotación y mantenimiento para disminuir la posibilidad de ineficiencia en los rendimientos, accidentes (que puedan afectar tanto a los humanos como al medio).

Asimismo, se le ha asignado gran peso a la posibilidad de contaminar las aguas subterráneas. Se recuerda que una de las principales motivaciones de realización de este proyecto es, justamente, el evitar que los cuerpos de agua de la zona continúen viendo su calidad disminuir.

Rendimiento y Calidad Efluente	Superficie necesaria	Clima	Terreno	Complejidad	Impacto Olfativo	Impacto Visual	Contaminación aguas	Coste	Total
15%	10%	10%	5%	15%	10%	5%	15%	15%	100%

Figura 21: Peso asignado a cada condicionante. Fuente: Elaboración propia

Por último, se realizan las multiplicaciones y se obtiene la siguiente tabla de resultados:

	Rendimiento y Calidad Efluente	Superficie necesaria	Clima	Terreno	Complejidad	Impacto Olfativo	Impacto Visual	Contaminación aguas	Coste	Total
Humedales Artificiales	135	50	80	30	135	60	45	105	90	730
Lagunaje	105	60	30	30	90	30	30	75	45	495
Filtros Intermittentes Arena	150	80	60	30	105	60	30	105	105	725

Figura 22: Resultados del análisis de alternativas. Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, se optará por la implementación de la tecnología de Humedales Artificiales con Flujo Subsuperficial Horizontal.

De manera orientativa, se inserta un esquema de la línea de tratamiento a implementar en la Vereda Santa Isabel con sus diferentes etapas:

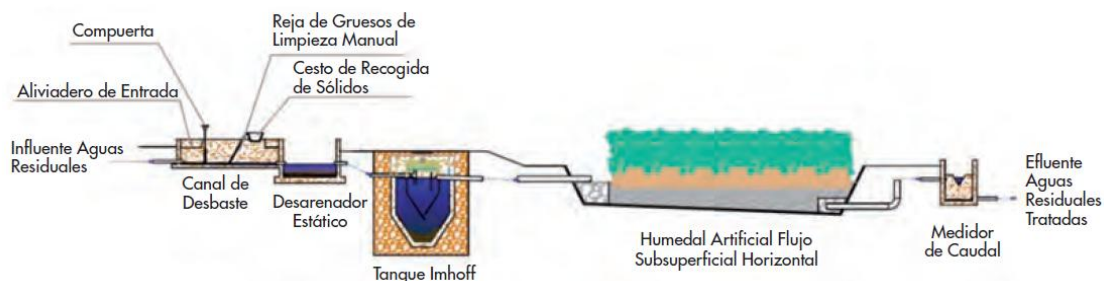


Figura 23: Esquema Línea de Tratamiento. Fuente: CEDEX

5. Referencias

CEDEX, M. d. (2014). *Selección de Terrenos para la Ubicación de las Plantas de Tratamiento*. Madrid.

CEDEX, M. d. (2021). *Manual para la Implantación de Sistemas de Depuración en Pequeñas Poblaciones*. Madrid.

CEDEX, M. d. (2022). *Selección de Tecnologías de Tratamiento*. Madrid.

Google LLC. (s.f.). *Google Earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/>

Metcalf & Eddy, I. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, 3ª Edición.*

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Ambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/>

ANEJO N°7: NORMATIVA

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Organismos	4
3. Normas	5
4. Referencias.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Límites de Vertido. Fuente: MinAmbiente	7
Figura 2: Profundidades a las cotas claves del colector. Fuente: MinAmbiente	8
Figura 3: Requerimientos de área para Eras de Secado. Fuente: MinAmbiente	9

1. Objeto

El siguiente anejo tiene por objeto establecer el marco normativo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Vereda Santa Isabel.

El presente proyecto se enmarca en una iniciativa de cooperación internacional al desarrollo, ejecutada en una zona rural fuera del país de residencia habitual. Por ello, la normativa y el marco institucional aplicables difieren significativamente de los que regirían en un proyecto desarrollado en España. En este apartado se describen los principales organismos colombianos responsables de la gestión del recurso hídrico y del saneamiento básico.

Se menciona que, la normativa descrita en este anejo será la estrictamente necesaria para realizar el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

En otras palabras, la normativa de aplicación en otros ámbitos del proyecto (por ejemplo, seguridad y salud, impacto ambiental, etc.) quedará fuera de este anejo y se recogerá más adelante en este documento y también en el Documento N°3: Pliego.

2. Organismos

Este tipo de intervención requiere considerar las regulaciones ambientales, sanitarias y técnicas vigentes en Colombia, así como la coordinación con diversas entidades públicas con competencias en el sector:

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS): es la autoridad nacional encargada de la gestión y conservación del recurso hídrico, la biodiversidad y el medio ambiente. A través de las Corporaciones Autónomas Regionales, como CORPONARIÑO, otorga los permisos de vertimiento, define los estándares de calidad del agua y evalúa los impactos ambientales asociados a los proyectos de infraestructura.
- Ministerio de Salud y Protección Social: es el ente rector en materia de salud pública. Determina los límites permisibles de contaminantes en el agua residual tratada y establece los criterios sanitarios para infraestructuras que puedan tener impacto en la salud de la población. También colabora en la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: Tiene a su cargo la formulación de políticas públicas, normativas técnicas y programas de

financiación para el sector de agua potable y saneamiento. Promueve soluciones diferenciales para zonas rurales dispersas, incluyendo el uso de tecnologías apropiadas, y gestiona el Programa Nacional de Saneamiento Rural.

- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA): Estas entidades participan en la planificación energética y la regulación económica del sector. En particular, la CRA establece los regímenes tarifarios, los modelos de prestación del servicio y las condiciones de sostenibilidad financiera de los sistemas de saneamiento rural.
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO): es la autoridad ambiental en el área de influencia del proyecto. Tiene la responsabilidad de otorgar el permiso de vertimiento, vigilar el cumplimiento de la normativa ambiental, y supervisar que el proyecto se alinee con los planes de ordenamiento ambiental de la cuenca de la laguna de La Cocha, catalogada como sitio Ramsar.
- Empresas prestadoras y organizaciones comunitarias En el contexto rural colombiano, los servicios de agua y saneamiento suelen estar gestionados por asociaciones comunitarias, juntas administradoras del agua o entidades prestadoras locales. En el caso de Santa Isabel, será clave fortalecer estas estructuras comunitarias para garantizar la sostenibilidad y operación del sistema una vez implementado.

3. Normas

Las normas más importantes para el diseño del sistema de tratamiento del proyecto son las siguientes:

- Resolución 0330/2017: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
- Resolución 799/2021: Modifica la 330/2017, actualizando artículos clave relacionados con sistemas diferenciales para zonas rurales
- Resolución CRA 1096/2000: Adopta el RAS
- Decreto 1745/2021: Reglamenta conexiones a sistemas de alcantarillado y tratamiento
- Decreto 1594/1984: Normas sobre uso del agua y vertimientos
- Decreto 3930/2010: Permisos de vertimiento y reúso del agua
- Resolución 1207/2014: Requisitos para el uso de aguas residuales tratadas

- Resolución 631/2015: Parámetros y valores límites de vertimientos puntuales
- Resolución 699/2021: Vertimientos al suelo: valores límites y condiciones
- Decreto 1287/2014: Uso y disposición de biosólidos generados en PTAR
- Ley 142/1994: Régimen de servicios públicos domiciliarios
- Resolución 3957/2009: Vertimientos a sistemas de alcantarillado
- Ley 99/1993: Crea el Ministerio de Ambiente y el SINA
- Decreto 1076/2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente
- Ley 23/1973: Normas sobre protección de los recursos naturales renovables
- Ley 1562/2012: Sistema General de Riesgos Laborales
- Decreto 1072/2015: Reglamento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)
- Ley 373/1997: Uso eficiente y ahorro del agua
- Decreto 2811/1974 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables): Define gestión de recursos hídricos y dominio público del agua
- Resolución 1433/2004: Reglamenta Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV)
- Resolución 196/2006 (MAVDT): Línea técnica para planes de manejo de humedales
- Decreto 1468/2018: Reglamenta inclusión de humedales Ramsar en normativas ambientales

Se citan a continuación, artículos específicos de especial relevancia para este proyecto:

Para los límites en la concentración de contaminantes en los vertidos, se recurre a la 631/2015:

- Artículo 2: Definiciones
 - Se adopta la siguiente definición:
 - Aguas Residuales Domésticas – ARD: son las procedentes de los hogares que correspondan a:
 1. Descargas de los retretes y servicios sanitarios

2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa.
- Artículo 8: Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas – ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores de servicio público de alcantarillado a cuerpos de agua superficiales

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD - ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 Kg/día DBO ₅
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB ₅ %)	mg/L O ₂		90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L		Análisis y Reporte

Figura 1: Límites de Vertido. Fuente: MinAmbiente

A su vez, para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales se siguen las directrices de la resolución 330/2017 y su modificación mediante la resolución 799/2021:

- Artículo 41: Caudal de Aguas Residuales
 1. Cuando se utilice proyección de población, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$Q_D = \frac{C_R \times P \times D_{NETA}}{86400}$$

Siendo $CR = 0,85$, P la población proyectada para el período de diseño y $DNETA$ la dotación de agua potable proyectada por habitante.

4. Caudal Máximo Horario: el factor de mayoración, en ausencia de datos de campo, debería adoptar un valor entre 1,4 y 3,8.

7. Caudal de diseño de la red de saneamiento, se debe adoptar 1,5 L/s cuando el caudal máximo horario calculado sumado a las infiltraciones, sea menor a este valor.

- Artículo 139 – 330/2017: Profundidad de instalación de la tubería en alcantarillados

Tabla 18. Profundidades a las cotas claves del colector

Servidumbre	Profundidad a la clave del colector (m)
Vías peatonales o zonas verdes	0,75
Vías vehiculares	1,20

Figura 2: Profundidades a las cotas claves del colector. Fuente: MinAmbiente

- Artículo 140 – 330/2017: Diámetro interno real mínimo en los alcantarillados sanitarios: El diámetro interno real mínimo permitido en redes de alcantarillado sanitario es de 170 mm. Para poblaciones menores de 2500 habitantes el diámetro interno real permitido es 140 mm.
- Artículo 141 – 330/2017: Criterios de autolimpieza en los alcantarillados sanitarios: La velocidad mínima real permitida en el colector de alcantarillado sanitario es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1 Pa.
- Artículo 142 – 330/2017: Velocidad máxima en los alcantarillados sanitarios: La velocidad máxima real de un colector por gravedad no debe sobrepasar los 5 m/s, determinada para el caudal de diseño.
- Artículo 180 – 330/2017: Humedales artificiales: El tiempo de retención hidráulica normalmente está alrededor de 5 días, la relación largo-ancho de 3:1 a 4:1, las profundidades de flujo superficial de 0,3 m a 0,6 m y 0,1 m a 0,45 m para flujo sumergido. Se deberá contar con la impermeabilización del suelo mediante una capa de arcilla o empleando geomembranas.

- Artículo 211 – 330/2017: Requisitos mínimos de diseño para procesos de manejo de lodos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales Se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros de diseño: Los valores anteriores se pueden reducir al 75% en caso de que los lechos de secado se cubran.

Tabla 44. Requerimientos de área para lechos de secado a cielo abierto

Tipo de biosólido	Área (m ² /persona)	Carga de sólidos (Kg/m ² *año de sólidos secos)
Primario digerido	0,1	120 - 150
Filtro percolador digerido	0,12 – 0,16	90 - 120
Lodos activados digeridos	0,16 – 0,24	60 - 100

Figura 3: Requerimientos de área para Eras de Secado. Fuente: MinAmbiente

Se han seguido, a su vez, las directrices constructivas establecidas en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000) en sus apartados:

- E.0.3 - Normas Técnicas Referenciadas
- E.1.3 - Consideraciones Generales
- E3.5.3 - Humedales Artificiales de Flujo Sumergido
- E3.5.6 - Tanques Imhoff
- E.4.4 – Pretratamientos
- E.4.10.7 - Lechos de secado de lodos
- E.6 - Operación y Mantenimiento
- E.7 - Metodologías de Diseño

4. Referencias

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Ambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/>

***ANEJO N°8:
DIMENSIONAMIENTO DE LA
RED DE SANEAMIENTO Y EL
SISTEMA DE DEPURACIÓN***

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Datos Básicos de Diseño	4
2.1. Población de Diseño	4
2.2. Caudales	5
2.2.1. Caudal Medio Diario	5
2.2.2. Caudal Máximo Horario	6
2.2.3. Caudal de Infiltración	6
2.2.4. Caudales de Diseño	7
2.3. Concentración de Contaminantes en las Aguas Residuales	8
3. Dimensionamiento de la Red de Saneamiento	9
4. Dimensionamiento de la Estación Depuradora	14
4.1. Esquema de funcionamiento de la PTAR	14
4.2. Pretratamiento	14
4.3. Tratamiento Primario: Tanque Imhoff	16
4.4. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal	19
4.4.1. Medio granular	20
4.4.2. Vegetación	21
4.4.3. Criterios de Selección de plantas	21
4.4.4. Detalles	22
4.5.5. Dimensionamiento del Humedal	22
4.5. Tratamiento de Fangos	25
5. Referencias	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Caudales de proyecto	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2: Caudales de Diseño	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3: Concentración de contaminantes tipo en aguas residuales. Fuente: CEDEX	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4: Concentraciones de diseño. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5: Valores límite de vertido a cuerpos de agua superficiales. Fuente: Elaboración propia.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6: Resultados de los cálculos hidráulicos. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7: Catálogo de dimensiones tuberías de PVC. Fuente: GERFOR S.A.S	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8: Valores hidráulicos reales. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9: Esquema de la estación depuradora. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10: Especificaciones técnicas pretratamiento prefabricado. Fuente: ACO REMOSA.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11: Representación de un tanque Imhoff. Fuente: IAGUA	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12: Catálogo tanque Imhoff. Fuente: SALHER	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13: Concentración efluentes del tanque Imhoff. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14: Esquema de humedal artificial de flujo horizontal. Fuente: García y Corzo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15: Detalles constructivos del Humedal. Fuente: García y Corzo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16: Límites de vertido. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17: Dimensiones del humedal artificial. Fuente: Elaboración propia	¡Error! Marcador no definido.

Figura 18: Composiciones típicas de fangos de tanque Imhoff. Fuente: CEDEX.....¡Error! Marcador no definido.

Figura 19: Esquema eras de secado. Fuente: CEDEX¡Error! Marcador no definido.

1. Objeto

El presente anejo tiene por objetivo fundamentar los cálculos realizados para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los parámetros de vertido según la normativa.

2. Datos Básicos de Diseño

Este apartado tiene por objeto definir los Datos Básicos necesarios para establecer el valor de los parámetros de diseño del proyecto (población, caudales y concentración de contaminantes en las aguas) así como determinar las condiciones que han de tener las aguas residuales al realiza el vertido en el cauce receptor.

En primer lugar, se determinará el número de habitantes previstos para el año de diseño 2050, tomando como tasa de crecimiento un valor de 0,5%, estimado a partir de las proyecciones de población en áreas rurales del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) sumado a las mejoras esperables en la calidad de vida de los habitantes de la Vereda.

En segundo lugar, se calcula la dotación de aguas negras que se aplicará, de tal forma que, que satisfaga los habitantes previstos y la dotación de las cargas hidráulicas en el año horizonte.

Posteriormente se determinarán los habitantes-equivalentes actuales, extrapolando para el futuro y estableciendo las características cualitativas del agua residual y, por consiguiente, la concentración de contaminantes en el efluente.

Por último, se analizará el cauce receptor y sus condicionantes medioambientales y legislativos, para determinar las características cualitativas que han de tener las aguas depuradas y así garantizar la conservación del cauce.

2.1. Población de Diseño

Para determinar la población en el año horizonte partiremos de los datos obtenidos de la encuesta realizada personalmente en la comunidad. La población total de la Vereda correspondientes al mes de septiembre de 2024 es de 108 personas.

Se realizará el cálculo según el Modelo Poblacional Compuesto, usado frecuentemente para la estimación a futuro de poblaciones:

En este modelo se usa una tasa de crecimiento poblacional conocida para determinar la población en el año horizonte. Así, se utiliza el valor correspondiente al Plan de Ordenamiento Territorial vigente.

$$P_t = P_0(1 + r)^t$$

Siendo:

- P_t la población en el año horizonte (2050)
- P_0 la población en septiembre de 2024
- t es el tiempo en años (25 años)
- r es la tasa de crecimiento poblacional, en este caso, 0,5%.

Utilizando este método, la población para la Vereda de Santa Isabel para el año horizonte es de $P_t = 123$ personas

2.2. Caudales

2.2.1. Caudal Medio Diario

Para el cálculo del Caudal Medio Diario de Aguas Residuales que se necesita para la dotación de diseño se ha tenido que estimar a través de los datos de consumo. Esto se debe a la falta de datos en la zona.

Previamente a los valores adoptados se define el siguiente concepto:

- Dotación: se considera dotación al caudal de agua potable que consume en promedio cada habitante en un día, permitiendo satisfacer sus necesidades básicas. La dotación incluye los consumos doméstico, comercial, industrial y público, se expresa en litros/habitante/día (l/hab/d).

Dada la escasez de datos de consumo de agua potable, de lo poco fiable de los obtenidos en campo y teniendo en cuenta la escasa actividad económica en la comunidad, se estima un valor de consumo de 90 l/hab/día, de acuerdo a la resolución 844/2018.

Luego, se aplica un coeficiente de retorno correspondiente al 85% del valor de consumo.

La fórmula a utilizar la establece la normativa y es la siguiente:

$$Q_D = \frac{C_R \times P \times D_{NETA}}{86400}$$

Siendo Q_D el caudal de aguas residuales domésticas, C_R el coeficiente de retorno = 0,85, D_{NETA} la dotación neta de agua potable y P la población de diseño.

2.2.2. Caudal Máximo Horario

Para la estimación del caudal máximo horario se recurrirá a la resolución 799/2021 en la cual se establece que, el coeficiente de mayoración que se debe aplicar al caudal medio en ausencia de datos debe estar entre 1,4 y 3,8.

Para mantenerse del lado de la seguridad y considerando que la población de diseño es extremadamente pequeña, se va a establecer el valor de 3,8. Esto se fundamenta en que, cuanto más pequeña es la población, más acusadas son las puntas que presentan los caudales.

Así, el Caudal Máximo = $3,8 * 9,41 \text{ m}^3/\text{día} = 35,76 \text{ m}^3/\text{día} = 0,414 \text{ L/s}$

2.2.3. Caudal de Infiltración

Es el volumen de agua que penetra en la red de alcantarillado a través de juntas, fisuras, conexiones domiciliarias defectuosas, pozos de registro, acometidas o por las paredes de tuberías enterradas, debido a la presión del agua subterránea o al contacto con estratos saturados.

No proviene del consumo doméstico ni de la escorrentía superficial, sino de fuentes subterráneas.

En la normativa aplicable, se establece que este valor debe ser de $0,1 \text{ L/s} \cdot \text{ha}$, aplicado al área de las calles del sector beneficiado del sistema.

En ausencia de calles, se considera el área equivalente a una calle convencional (se adoptará el valor de 10 m de ancho) cuyo trazado coincidiría en planta con la que tomará la red de saneamiento. De esta manera, según lo indicado en el Anejo N°3 donde se estimó una longitud de la red de 1022 m, se obtiene un área de 1,022 ha.

Así, el valor del caudal de infiltración es de $0,1022 \text{ L/s}$

2.2.4. Caudales de Diseño

Se deberán considerar tres caudales de diseño:

- Para el pretratamiento y el tratamiento primario el caudal de diseño resultará de la suma del Caudal Máximo Horario y el Caudal de Infiltración.
- Para el tratamiento secundario (Humedal Artificial), el caudal de diseño será la suma del Caudal Medio Diario y el Caudal de Infiltración.
- Para la red de saneamiento será la suma del Caudal Medio Diario y el Caudal de Infiltración. Sin embargo, si la suma de estos es menor a 1,5 L/s, se adoptará este valor.

Caudal Medio Diario	0,1089 L/s
Caudal Máximo Horario	0,414 L/s
Caudal de Infiltración	0,1022 L/s

Figura 1: Caudales de proyecto

Así, los caudales de diseño serán los siguientes:

Caudal de Diseño (Pretratamiento y Tratamiento Primario)	0,516 L/s
	0,000516 m ³ /s
	0,031 m ³ /min
	1,86 m ³ /h
	44,59 m ³ /d
Caudal de Diseño (Humedal Artificial)	0,211 L/s
	0,000211 m ³ /s
	0,0123 m ³ /min
	0,76 m ³ /h
	18,24 m ³ /d
Caudal de Diseño (Red de Saneamiento)	1,5 L/s
	0,0015 m ³ /s

	0,09 m ³ /min
	5,4 m ³ /h
	129,6 m ³ /d

Figura 2: Caudales de Diseño

2.3. Concentración de Contaminantes en las Aguas Residuales

El cálculo de los habitantes equivalentes sirve para calcular y estimar que parte de la contaminación está producida por el uso doméstico y que parte esta originada por la industria. En el caso de la Vereda Santa Isabel, no existe industria, por lo tanto, el agua bruta a tratar solo podrá provenir del uso doméstico.

Para el cálculo de la concentración de contaminantes presentes en el agua, se utilizará el dato de la población de la localidad en el año horizonte y con la siguiente estimación de los valores contaminantes.

La fórmula usada es la siguiente:

$$\text{Concentración (ppm)} = \frac{\text{Contaminante} \left(\frac{\text{gr}}{\text{hab.} \cdot \text{día}} \right) * \text{Poblacion(hab.)}}{Q_{\text{medio}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}$$

Contaminante	Cantidad $\left(\frac{\text{gr}}{\text{hab.} \cdot \text{día}} \right)$
DBO ₅	60
DQO	120
SS	70
NTK	11
P _T	1.8

Figura 3: Concentración de contaminantes tipo en aguas residuales. Fuente: CEDEX

Contaminante	Población (hab.)	Q _{med} (m ³ /día)	Concentración (mg/L)

DBO ₅	123	18,24	405
DQO			809
SS			472
NTK			74
P _T			12

Figura 4: Concentraciones de diseño. Fuente: Elaboración propia

Según la resolución 631/2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertidos puntuales a cuerpos de aguas superficiales, los valores a considerar para el vertido de aguas depuradas de vertido se encuentran en el Capítulo V, Artículo 8 de dicha resolución, y cuyos valores son, para aguas residuales domésticas:

Parámetro	Valor Máximo
DBO ₅	90 mg/L
DQO	180 mg/L
SS	90 mg/L
pH	6-9

Figura 5: Valores límite de vertido a cuerpos de agua superficiales. Fuente: Elaboración propia

3. Dimensionamiento de la Red de Saneamiento

El procedimiento a seguir para el dimensionamiento de la red de saneamiento consiste en establecer los valores de los distintos parámetros mínimos y comprobar que se cumplen las velocidades de circulación media del agua mínimas establecidas por la normativa.

La decisión tomada con respecto al procedimiento a seguir para el dimensionamiento se hace partiendo de la base que, en las condiciones de proyecto, es decir, con caudales tan reducidos y considerando también la naturaleza de cooperación del proyecto, se intenta reducir los costes al mínimo posible siempre que cumpla con lo establecido en la normativa.

Dicho marco normativo utilizado para el presente dimensionamiento se encuentra establecido en el Anejo N°7 Normativa.

De esta manera, teniendo en cuenta el artículo 134 de la resolución 330/2017, se establece un diámetro interior para las tuberías de 140 mm.

Las comprobaciones a realizar son las siguientes:

- Artículo 139: Profundidad mínima a la clave del colector en vías peatonales o zonas verdes de 0,75 m.
- Artículo 141: La velocidad mínima permitida en un colector es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1 Pa.
- Artículo 142: Velocidad máxima no debe sobrepasar los 5 m/s.
- Artículo 143: Para permitir la aireación adecuada del flujo de aguas residuales, el valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño es del 85% del diámetro interno.
- Artículo 154: Diámetro mínimo de estructuras de conexión de 1,2 m

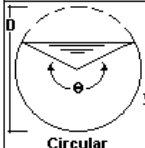
De esta manera, utilizando la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{R^{2/3} \cdot A \cdot \sqrt{S}}{n}$$

Siendo:

- Q el caudal de diseño = 0,0015 m³/s
- A el área mojada de la sección de la tubería
- S la pendiente del terreno, que se fija en un mínimo de S = 0,4%
- R el radio hidráulico
- n el numero de Manning que, considerando tuberías de PVC → n = 0,009

La profundidad del agua en la conducción parcialmente llena viene definida por la relación trigonométrica siguiente:

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}) \frac{D}{4}$	$(\text{sen} \frac{\theta}{2}) D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$

Así, y/D debe ser menor a 0,85.

Por su parte, para el criterio de autolimpiado:

$$\tau = \frac{f}{8} \cdot \rho \cdot V^2$$

Siendo:

- ρ la densidad del fluido = 1000 kg/m³
- V la velocidad del fluido
- f el factor de fricción de Darcy-Weisbach
- τ la tensión tangencial en la pared de la tubería

Dicho factor se calcula utilizando la fórmula:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{k}{3,71 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \right]^2}$$

Que, a su vez:

$$Re = V \cdot \frac{D}{\nu}$$

Siendo:

- Re el número de Reynolds
- V la velocidad del fluido
- D el diámetro interno
- k la rugosidad equivalente = 0,0015 mm
- ν la viscosidad del fluido que, para aguas residuales, tiene un valor aproximado de $1,31 \cdot 10^{-6}$ m²/s, valor propuesto por la Manual de Saneamiento del CEDEX

Siguiendo este procedimiento, nos quedan las siguientes incógnitas:

- La velocidad del fluido V
- El factor de fricción f
- La tensión tangencial τ
- El ángulo θ que depende del porcentaje de llenado de la tubería

Estas, al encontrarse formuladas de forma implícita, se resuelven realizando una serie de tanteos hasta obtener un valor que cumpla con todo lo que establece la normativa.

Así, utilizando una hoja de cálculo se obtienen los siguientes resultados:

θ	62°
y/D	24,3 %
Área Hidráulica	0,03 m ²
Perímetro Mojado	0,144 m
Radio Hidráulico	0,02 m
f	0,0205
V	0,52 m/s
τ	6,92 Pa

Figura 6: Resultados de los cálculos hidráulicos. Fuente: Elaboración propia

Se propone la instalación de las tuberías fabricadas por PVC Gerfor S.A.S (Colombia) que tiene el sello de calidad NTC 3722-3 para "Tubos y Accesorios de Pared Estructural para Drenaje Subterráneo y Alcantarillado"

DIMENSIONES TUBERÍAS CORRUGADAS NTC 3722-3								
Diámetro Nominal	Diámetro Equivalente	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Longitud Inserción	Longitud Efectiva	Rigidez Mínima	Peso S4 (28 PSI)	Peso S8 (58 PSI)
mm	Pulgadas	mm	mm	mm	mm	Psi	Kg.	Kg.
110	4	109.4 - 110.4	99	80 - 90	5910 - 5920	28 y 58	6.1	7.2
160	6	159.1 - 160.5	144	100 - 110	5890 - 5900	28 y 58	13.8	13.9
200	8	198.8 - 200.6	180	100 - 120	5880 - 5900	28 y 58	16	16.7
250	10	248.5 - 250.8	226	120 - 140	5860 - 5880	28 y 58	23.9	24.5
315	12	313.2 - 316.0	284	130 - 150	5850 - 5870	28 y 58	34.3	38.8
355	14	352.9 - 356.1	320	140 - 160	5840 - 5860	58	-	52.1
400	16	397.6 - 401.2	360	160 - 180	5820 - 5840	58	-	62.4
450	18	447.3 - 451.4	406	170 - 190	5810 - 5830	58	-	75.3
500	20	497.0 - 501.5	452	200 - 210	5780 - 5800	58	-	94.2

Figura 7: Catálogo de dimensiones tuberías de PVC. Fuente: GERFOR S.A.S

Si se modifica el diámetro interior a 144 mm en el cálculo se obtienen los siguientes valores:

θ	64,3°
y/D	23,4 %
Área Hidráulica	0,03 m ²
Perímetro Mojado	0,145 m
Radio Hidráulico	0,02 m
f	0,0205
V	0,51 m/s
τ	6,85 Pa

Figura 8: Valores hidráulicos reales. Fuente: Elaboración propia

Los cuales se encuentran dentro de los valores admitidos por la normativa.

4. Dimensionamiento de la Estación Depuradora

4.1. Esquema de funcionamiento de la PTAR

La sucesión de etapas que componen el proceso de tratamiento de las aguas residuales es el siguiente:



Figura 9: Esquema de la estación depuradora. Fuente: Elaboración propia

El pretratamiento y el tratamiento primario son tratamientos previos, y tienen como objetivo eliminar o reducir la presencia de materiales que obturan y desgastan tuberías y canales, y que pueden colmatar los humedales.

Los humedales están pensados para ser sistemas de bajo coste y con un gasto energético mínimo, y por tanto se recomienda dentro de lo posible utilizar pocos equipos electromecánicos en los procesos unitarios previos.

4.2. Pretratamiento

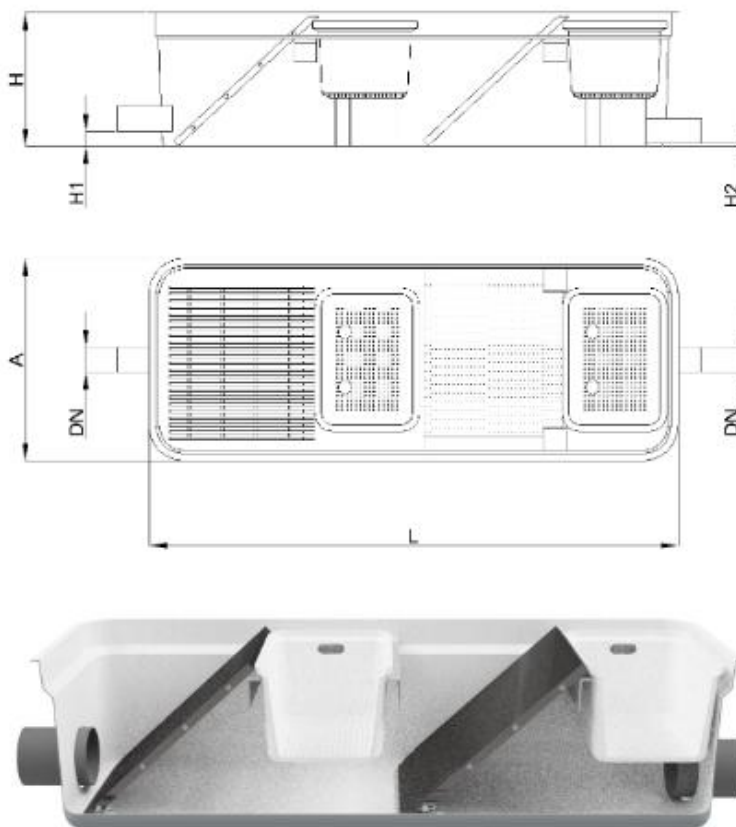
El pretratamiento está formado por todos aquellos procesos que se sitúan al inicio del sistema de depuración, y cuya función esencial consiste en eliminar sólidos gruesos (piedras, ramas, plásticos, etc.), grasas y arenas que pueden dañar o interferir en los procesos posteriores. En depuradoras de pequeños municipios (menos de 2000 habitantes) la forma más habitual de

pretratamiento consta de un canal, donde se encuentran sucesivamente, una zona donde se ubica un aliviadero de exceso de caudal, otra zona en la que se sitúa una reja de gruesos y/o una reja de finos, y una zona de desarenado. Opcionalmente, se puede tener un desengrasador al final del pretratamiento, en caso de que el agua tenga un alto contenido de aceites y grasas. De lo contrario esta última operación se realiza en el propio tratamiento primario (fosa séptica o tanque Imhoff).

Por temas de facilidad constructiva y reducción de tiempos de ejecución, se opta por instalar una solución de pretratamiento prefabricada.

Se propone la instalación de la Reja de desbaste de gruesos y finos de ACO REMOSA que tiene las siguientes características

Especificaciones Técnicas



Dimensiones1

L (mm): 2538

A (mm): 880

H (mm): 580

H1 (mm): 65

H2 (mm): 10

DN (mm): 110

Peso (kg): 40

Figura 10: Especificaciones técnicas pretratamiento prefabricado. Fuente: ACO REMOSA

Como se puede apreciar en las especificaciones del producto, el desbaste se realiza en dos etapas, una primera reja para retener sólidos gruesos con un

paso de 30 mm y un segundo desbaste para la separación de sólidos finos de 6 mm, fabricadas en acero inoxidable. El sistema está integrado en un depósito fabricado en plástico reforzado con fibra de vidrio. Cuenta con un volumen total de 1000 L..

Se ha escogido esta tecnología ya que integra en un mismo canal el desbaste de gruesos y finos, eludiendo así, la necesidad de instalar tecnologías independientes para cada proceso

4.3. Tratamiento Primario: Tanque Imhoff

Las Tanques Imhoff son dispositivos que permiten el tratamiento primario de las aguas residuales, reduciendo su contenido en sólidos en suspensión, tanto sedimentables como flotantes

Esta tecnología consiste en un único depósito en el que se diferencian dos zonas: la zona superior, de sedimentación, y la zona inferior para digestión de lodos. Se debe introducir un dispositivo para extracción de dichos lodos de manera periódica.

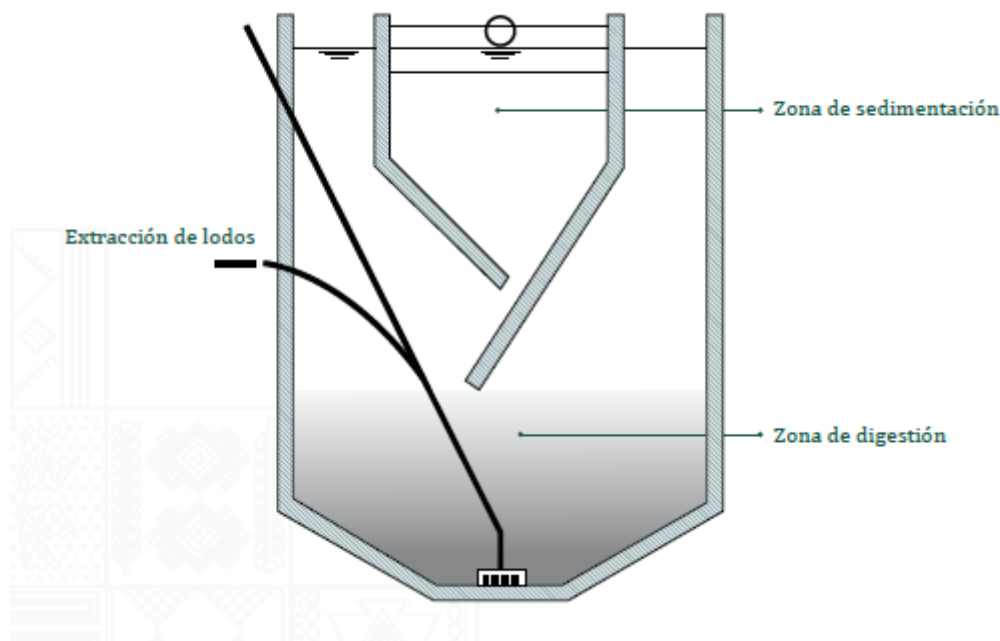


Figura 11: Representación de un tanque Imhoff. Fuente: IAGUA

Según las recomendaciones del CEDEX, su dimensionamiento se debe realizar de la siguiente manera:

- Zona de Decantación: esta zona se dimensiona para que la velocidad ascensional sea de, aproximadamente, 1 m/h a caudal máximo, y para que el tiempo de retención hidráulica sea del orden de 90 minutos.

- Volumen de la Zona de Digestión: considerando un tiempo de digestión del fango de 6 meses, el valor recomendado para el dimensionamiento de la zona de digestión se sitúa en torno a 0,07 m³/h-e.

De esta manera, para la zona de decantación se tiene:

$$\text{Tiempo de Retención Hidráulica} = 90 \text{ min} = \text{Volumen} \cdot Q_{\max}$$

Donde: $Q_{\max} = 44,58 \text{ m}^3/\text{día} = 1,86 \text{ m}^3/\text{h} = 0,031 \text{ m}^3/\text{min}$

Se obtiene un Volumen necesario de 2,79 m³ para la zona de decantación.

Luego, se dimensiona la zona de digestión multiplicando los valores recomendados por la población de cálculo:

$$Vol_{\text{digestión}} = 0,07 \frac{\text{m}^3}{\text{hab}} \cdot 123 \text{ hab} = 8,61 \text{ m}^3$$

De esta manera, el volumen total necesario para el tanque Imhoff resulta de:

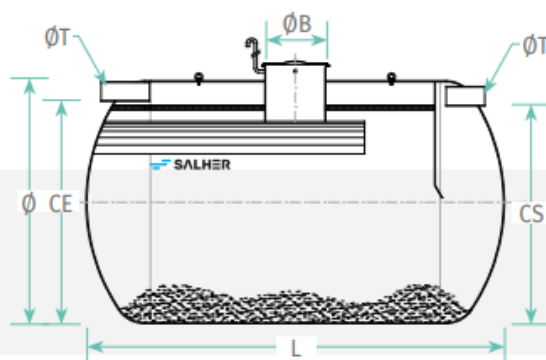
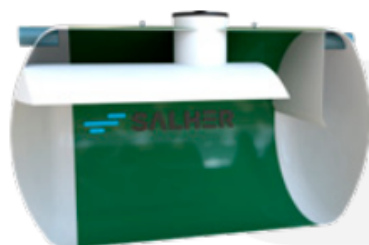
$$\text{Volumen total} = 2,79 \text{ m}^3 + 8,61 \text{ m}^3 = 11,4 \text{ m}^3 = 11400 \text{ L}$$

El dimensionamiento de la zona de digestión se ha proyectado para que la extracción de fangos se deba realizar cada 6 meses.

Se propone la instalación de un tanque Imhoff prefabricado de la empresa SALHER con las siguientes características

Características:

- Marca Salher modelo CHC-IMH.
- Equipo fabricado en PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) con resinas ortoftálicas según norma UNE-EN-12255-1
- Rendimiento de eliminación de sólidos en suspensión: 70 - 75 % mes.
- Rendimiento de eliminación de materia orgánica: 35 - 40 % DBO₅.
- Pantalla deflectora longitudinal.
- Cámaras de decantación, digestión y separación de flotantes.
- Tubuladuras de entrada y salida en PVC.
- Acceso, para operaciones de limpieza por medio de gestor autorizado, a través de boca de registro con tapa en PRFV.
- Toma en boca de registro para instalación de tubo de ventilación.



HAB/ EQV	CAPACIDAD [LITROS]	Ø [MM]	LONG. [MM]	Ø BOCA [MM]	Ø TUBERÍA [MM]	CE [MM]	CS [MM]
50	7.500	2.000	2.790	620	160	1.840	1.790
60	9.000	2.000	3.280	620	160	1.840	1.790
70	10.500	2.000	3.750	620	160	1.840	1.790
80	12.000	2.000	4.230	620	160	1.840	1.790
90	13.500	2.000	4.700	620	160	1.840	1.790
100	15.000	2.000	5.190	620	200	1.800	1.750
125	18.750	2.500	4.320	620	200	2.300	2.250
150	22.500	2.500	5.090	620	200	2.300	2.250
175	26.250	2.500	5.850	620	200	2.300	2.250
200	30.000	2.500	6.620	620	250	2.250	2.200
225	33.750	2.500	7.380	620	250	2.250	2.200
250	37.500	2.500	8.140	620	250	2.250	2.200
275	41.250	2.500	8.910	620	250	2.250	2.200
300	45.000	2.500	9.670	620	250	2.250	2.200
325	48.750	2.500	10.440	620	250	2.250	2.200
350	52.500	2.500	11.200	620	250	2.250	2.200
375	56.250	2.500	11.960	620	250	2.250	2.200
400	60.000	2.500	12.730	620	300	2.185	2.135

Figura 12: Catálogo tanque Imhoff. Fuente: SALHER

Se instalarán dos tanques de 7500 L con el objetivo de poder mantener la planta operativa cuando se realicen las operaciones de vaciado de uno de ellos.

Por otra parte, los rendimientos de depuración serán los más conservadores dentro de los propuestos por el fabricante:

Así, con estas reducciones, se obtiene:

Contaminante	Concentración Entrada (mg/L)	Concentración Efluente (mg/L)
DBO5	405	263
DQO	809	526
SS	472	142

Figura 13: Concentración efluentes del tanque Imhoff. Fuente: Elaboración propia

4.4. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

En los humedales de flujo subsuperficial horizontal la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. La biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua.

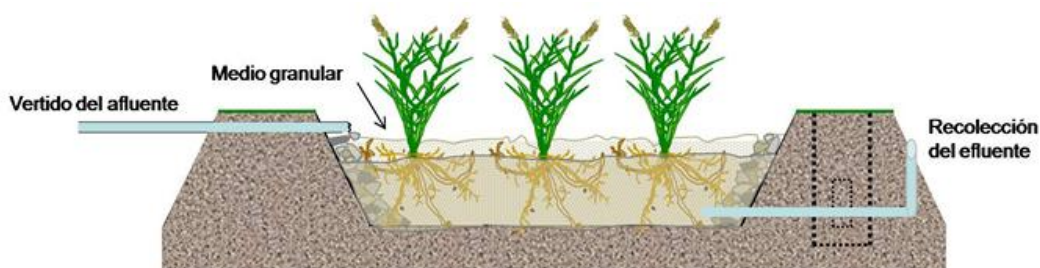


Figura 14: Esquema de humedal artificial de flujo horizontal. Fuente: García y Corzo

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. El rango típico para la profundidad del agua oscila entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m²·día.

Los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos:

- Estructuras de entrada del afluyente

- Impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada
- Medio granular
- Vegetación emergente típica de zonas húmedas
- Estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua.

Es necesario disponer de una barrera impermeable para confinar al sistema y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones locales puede ser suficiente una adecuada compactación del terreno. En otros casos será necesario realizar aportaciones de arcilla o utilizar láminas sintéticas. Se optará, dada la sensibilidad del medio, de disponer una geomembrana PEAD para garantizar la correcta impermeabilización.

Los humedales son sistemas que requieren una buena repartición y recogida de las aguas para alcanzar los rendimientos estimados, es por ello que las estructuras de entrada y salida deben estar muy bien diseñadas y construidas. El agua residual procedente de los tratamientos previos se hace llegar hasta una arqueta donde el caudal se divide equitativamente y mediante diversas tuberías se vierte al lecho. Alternativamente se puede hacer llegar el agua hasta un canal con vertedero que la distribuye de forma homogénea en todo el ancho del sistema. La recogida del agua efluente se realiza con una tubería perforada asentada sobre el fondo del humedal.

4.4.1. Medio granular

En el medio granular ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos.

El medio granular debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. Además, debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula.

Diámetros medios de alrededor de 5-8 mm ofrecen muy buenos resultados. Una característica muy importante del medio granular es su conductividad hidráulica, ya que de esta propiedad depende la cantidad de flujo de agua que puede circular a través de él. Durante el diseño debe tenerse en cuenta que la conductividad hidráulica disminuirá con el paso del tiempo (esta idea se desarrollará más adelante).

4.4.2. Vegetación

Las especies utilizadas son macrófitos emergentes típicos de las zonas húmedas como el carrizo, la espadaña o los juncos.

Los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales son:

- Las raíces y rizomas proporcionan una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula. La biopelícula crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular. Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde tienen lugar procesos microbianos que usan el oxígeno, como la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación.
- Amortiguamiento de las variaciones ambientales. Cuando las plantas están desarrolladas reducen la intensidad de la luz incidente sobre el medio granular evitándose así grandes gradientes de temperatura en profundidad que pueden afectar el proceso de depuración. En climas fríos la vegetación protege de la congelación.
- Las plantas asimilan nutrientes.

4.4.3. Criterios de Selección de plantas

La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizará el proyecto, así como las siguientes recomendaciones:

1. Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.
2. Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
3. La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de la biopelícula.
4. Deben disponer de un sistema eficaz de transporte de oxígeno hacia las partes subterráneas para promover la degradación aeróbica y la nitrificación.
5. Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado.
6. Debe tratarse de especies con una elevada productividad.
7. Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.

8. Se deben utilizar especies propias de la flora local.

4.4.4. Detalles

El agua llega al humedal a través de la zona de entrada. Después de circular por el humedal, el agua se evacua por lo que se denomina zona de salida. En la Figura 4 se muestra un esquema de las zonas de entrada y salida. La zona de entrada está constituida por dos elementos: un sistema de vertido y una franja de material granular de gran tamaño para proteger a los elementos de distribución de agua en el humedal. Se debe mencionar que esta zona no se debe plantar con macrófitas y debe mantenerse libre de vegetación para evitar la colmatación del sistema.

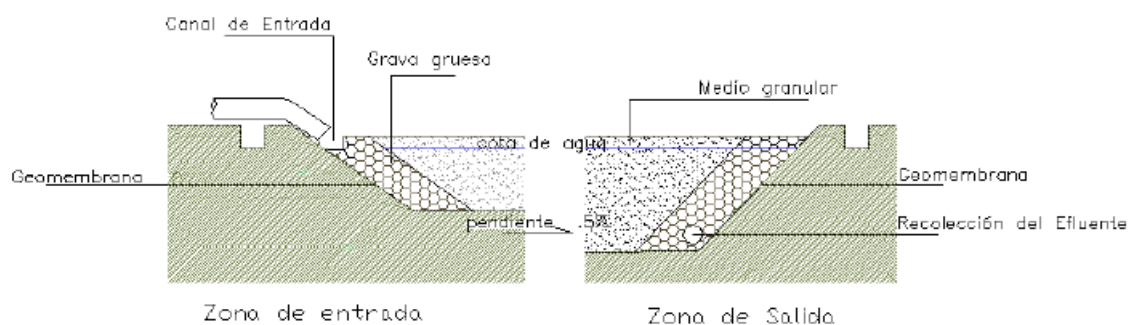


Figura 15: Detalles constructivos del Humedal. Fuente: García y Corzo

4.5.5. Dimensionamiento del Humedal

Para la determinación de la superficie necesaria de humedal se suele hacer uso del método de Reed et al. (1995), que parte de la base de considerar a los Humedales Artificiales de Flujo Horizontal como reactores de flujo pistón, que siguen cinéticas de primer orden para la eliminación de los distintos contaminantes. De acuerdo con estas premisas, la superficie necesaria de humedal viene dada por la expresión:

$$S = Q \cdot \frac{\ln(C_a/C_e)}{K_T \cdot h \cdot \rho_s}$$

Donde:

- S: superficie necesaria del humedal (m²)
- Q: caudal de aguas residuales a tratar (m³/d)

- C_a : concentración de DBO_5 en la entrada al humedal (mg/L). Se consideran las concentraciones correspondientes al efluente del Tanque Imhoff
- C_e : concentración de DBO_5 a la salida del humedal (mg/L). Viene determinada por la concentración deseada de salida.
- K_T : constante de reacción (d^{-1})
- h : profundidad de la lámina de agua en el humedal, para este tipo de humedal, se considera un valor de 0,4 m (se recomienda que el valor se encuentre entre 0,1 m y 0,45 m).
- ρ_s : porosidad del material filtrante (tanto por uno). Para el tipo de material filtrante que se recomienda para este tipo de humedales, la porosidad es de 0,35.

A su vez,

$$K_T = K_R \cdot \theta^{(T_w - T_R)}$$

- K_R : constante de reacción a la temperatura de referencia (d^{-1}). Para la eliminación de DBO_5 esta constante presenta un valor de 1,104.
- θ : constante adimensional. Para la eliminación de DBO_5 presenta un valor de 1,06.
- T_w : temperatura considerada en el dimensionamiento ($^{\circ}C$). Se emplea la temperatura media del agua en el mes más frío del año, en el lugar en el que se ubique el humedal. En este caso, se considera $T_w = 13^{\circ}C$
- T_R : temperatura de referencia ($^{\circ}C$) a la que se ha calculado θ_r , que suele ser $20^{\circ}C$.

$$K_T = 1,104 \cdot 1,06^{(13 - 20)} = 0,734$$

De acuerdo a la normativa colombiana, las concentraciones deseadas de salidas son:

Contaminante	Concentración Efluente (mg/L)
DQO	180
DBO_5	90
SS	90

Figura 16: Límites de vertido. Fuente:
Elaboración propia

De esta manera, la superficie necesaria es:

$$S = 18,24 \cdot \frac{\ln(263/90)}{0,734 \cdot 0,4 \cdot 0,35} = 190,3 \text{ m}^2$$

Por último, para determinar la relación largo/ancho del humedal se procede a su dimensionamiento hidráulico, para lo que se aplica la Ley de Darcy, que describe el régimen de flujo de un líquido en un medio poroso, mediante la expresión:

$$Q_{\max} = k_s \cdot A_s \cdot s$$

Donde:

- $Q_{\max}$: caudal máximo diario (m^3/d)
- k_s : conductividad hidráulica del medio filtrante en una sección del humedal perpendicular al flujo (m/d). Para el tipo de material filtrante que se recomienda para este tipo de humedales, el valor medio de la conductividad hidráulica que se considerará es de 7500 m/d . Sin embargo, dado que con el tiempo la conductividad hidráulica del medio filtrante irá disminuyendo (por el crecimiento de la biopelícula, la retención de materia particulada, etc.), se recomienda aplicar un factor de seguridad de 4-5. Es decir, tras aplicar este factor, el valor considerado es de 1500 m/d .
- A_s : sección transversal del humedal (m^2)
- s : pendiente del fondo del humedal (m/m), que para un valor habitual de 1 %

Con los valores descritos, se obtiene una sección transversal de $A_s = 2,97 \text{ m}^2$ y, así, un ancho de $W = 7,43 \text{ m}$

Por último, la longitud $L = S/W = 25,6 \text{ m}$.

Adaptando los valores, se obtienen las dimensiones que se indican a continuación:

Dimensiones Humedal Artificial
Altura 0,4 m Ancho 8 m Longitud 26 m

Figura 17: Dimensiones del humedal artificial. Fuente: Elaboración propia

Lo que resulta en una relación Longitud/Ancho de 3,25, lo cual se encuentra dentro de lo recomendado por la normativa (entre 3 y 4 según Ley 330/2017).

4.5. Tratamiento de Fangos

Los fangos generados en una EDAR presentan una elevada componente orgánica, por lo que son susceptibles de entrar en putrefacción, generar malos olores y deteriorar la calidad de los efluentes tratados.

Los fangos generados por el tanque Imhoff se caracterizan por estar altamente digeridos y mineralizados (contenido en sólidos volátiles inferiores al 50%), al permanecer en el reactor durante un prolongado periodo de tiempo (mínimo 6 meses en Tanques Imhoff).

La bibliografía propone los valores de composición típicos que se muestran a continuación:

Punto de toma de muestra en el manto de fangos	% Materia Mineral	% Materia Volátil
Superficie	60%	40%
Intermedia	68%	32%
Fondo	72%	28%
Muestra compuesta	67%	33%

Figura 18: Composiciones típicas de fangos de tanque Imhoff. Fuente: CEDEX

De esta manera, y ya que los fangos cuentan con un alto grado de mineralización, se propone un tratamiento in situ de estos mediante la construcción de Eras de Secado.

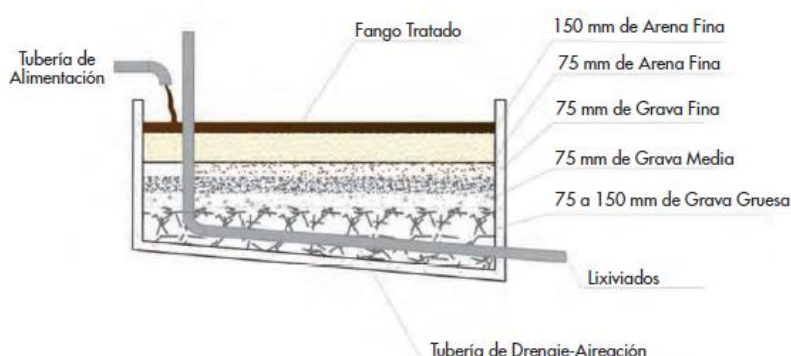


Figura 19: Esquema eras de secado. Fuente: CEDEX

El secado de los fangos se produce por drenaje (o filtración) y evaporación:

- Primero, el agua se filtra a través de la arena, favoreciendo el desprendimiento de gases ocluidos y disueltos. Esta fase suele durar entre las 12-18 horas y da como resultado una suspensión fangosa de hasta el 20% de sequedad
- Luego se da una fase de evaporación, la cual es más lenta (15 días en condiciones favorables). Se forman grietas y se obtiene un nivel de sequedad de entre el 40-60%, presentando una consistencia tal que permite ser extraído con palas.

Con la retirada del fango también se elimina algo de arena de la capa drenante, al quedar adherida a la torta, lo que obliga, cada cierto tiempo, a reponer parte de la arena.

Cada lecho debe ser diseñado para retener en una o más secciones, el volumen total de lodo extraído del tanque Imhoff.

Los elementos estructurales del lecho incluyen los muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodo y muros. Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0,5 y 0,9 m por encima de la arena. Debe asegurarse que no existan filtraciones laterales a través de los muros separadores.

Producción de fango: $18,24 \text{ m}^3/\text{d} * 0,472 * 0,7 = 6,03 \text{ kg SS/d}$. Suponiendo que un 40% de SF y un 60% SV: $3,62 \text{ kg SV/d}$ y $2,41 \text{ kg SF/d}$.

Suponiendo una eliminación de SV en el tanque Imhoff del 50%, la producción diaria de fango digerido será $4,22 \text{ kg SS/d}$. Puede suponerse una concentración de fango digerido de 3% y entonces el caudal diario de fango a deshidratar será de $0,13 \text{ m}^3/\text{d}$. El tanque Imhoff se ha diseñado para extraer fango cada 6 meses por lo que el volumen de fango a deshidratar será de $23,4 \text{ m}^3$ por evento.

Como término medio se puede tomar un espesor de la capa de fango de 0,4 m por lo que la superficie de secado necesaria es $58,5 \text{ m}^2$. Pueden realizarse 3 lechos de secado de $3 \times 7 \text{ m}$.

Los valores de área requerida en m^2 por habitante según el tipo de lodo que se deben usar se obtienen de la resolución 330/2017 y resulta, para este tipo de lodos, de $0,1 \text{ m}^2/\text{habitante}$ con una carga de sólidos secos de entre $120\text{-}150 \text{ kg/m}^2\cdot\text{año}$. Sin embargo, estos valores no se encuentran del lado de la seguridad, la cifra recomendada se encuentra entre $0,35$ y $0,5 \text{ m}^2/\text{hab}$.

La cantidad anual de fango deshidratado suponiendo una sequedad del 40% será 3.852,75 kg/año (3,85 t/año).

Estos se utilizarán para abono en las actividades agrícolas de los mismos habitantes.

5. Referencias

- ACO PRODUCTOS POLÍMEROS S.A.U. (s.f.). ACO REMOSA. Obtenido de <https://www.aco.es/>
- CEDEX, M. d. (2021). *Manual para la Implantación de Sistemas de Depuración en Pequeñas Poblaciones*. Madrid.
- GERFOR S.A.S. (s.f.). GERFOR S.A. Obtenido de <https://gerfor.com/>
- IAGUA. (s.f.). Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/modesto-tanque-imhoff-fundamentos-y-diseno>
- Joan García, A. C. (2008). *Depuración con Humedales Construidos*.
- Metcalf & Eddy, I. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, 3ª Edición*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Ambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/>
- SALHER. (2024). SALHER. Obtenido de <https://www.salher.com/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia. (2021). *Guía Técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales*. La Paz.



ANEJO N°9: ESTUDIO AMBIENTAL, IMPACTO Y AFECCIONES

ÍNDICE

1. Objeto	3
2. Normativa Aplicable	3
3. Metodología	4
4. Condiciones Ambientales Actuales.....	4
4.1. Condiciones climáticas	4
4.2. Condiciones de biodiversidad.....	5
4.3. Condiciones geológicas y geomorfológicas.....	6
4.3.1. Erosión del suelo y uso del territorio.....	7
4.3.2. Características del suelo y drenaje	7
4.3.3. Uso del suelo y cobertura vegetal.....	7
4.3.4. Calidad del agua.....	7
4.4. Aspectos sociales y económicos.....	7
5. Análisis de Impactos.....	8
5.1. Impactos ambientales durante la construcción.....	8
5.2. Impactos ambientales durante la operación	9
5.3. Impactos ambientales positivos de la operación de la PTAR	11
6. Medidas de Mitigación de Impactos.....	12
6.1. Fase de Construcción.....	12
6.2. Fase de Operación	13
7. Plan de Seguimiento Ambiental.....	14
8. Referencias.....	16

1. Objeto

En el estudio de Impacto Ambiental se incluyen las acciones para la evaluación ambiental, así como la identificación y estimación de los impactos potenciales, tanto en las fases de ejecución como de explotación del sistema de saneamiento. Además, se analizan y definen las medidas preventivas, correctoras y/o compensatorias para mitigar dichos efectos.

Todas estas actividades son necesarias para el desarrollo del proyecto, ya que permiten identificar y controlar sus posibles impactos, los cuales suelen estar relacionados con la degradación progresiva del medio donde se sitúa la zona de actuación, como consecuencia de la contaminación hídrica, y atmosférica propias, además de otros factores.

2. Normativa Aplicable

Para la elaboración del presente anejo sobre impacto ambiental, se debe prestar especial atención a la normativa aplicable que se detalla a continuación:

- Ley 99 de 1993: se citan los artículos donde se expresa la obligación de realizar un estudio ambiental. En el artículo 52 se expresa la necesidad de realizarlo cuando el proyecto pueda afectar al Sistema de Parques Nacionales Naturales, al que pertenece La Cocha.
- Ley 23 de 1973: en la que se especifica que toda actividad pública o privada que afecte los recursos naturales estará sometida a control (art. 4).
- Decreto 1076 de 2015: en el que se expresan las condiciones de control y seguimiento del estudio de impacto ambiental. Se desarrollará esta idea más adelante en el presente anejo
- Resolución 1401 de 2007
- Decreto 3930 de 2010: en su artículo 47 sobre la obtención de permisos de vertimiento.
- Resolución 631 de 2015: aborda los límites máximos de concentración de contaminantes en los vertidos. Este aspecto fue contemplado en anejos anteriores.

- RAS 2000 (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico)
- Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos (MAVDT, 2002)
- Formatos ICA

3. Metodología

Con el fin de lograr una evaluación ambiental adecuada, primeramente, se lleva a cabo una recopilación de toda la información disponible relativa a las condiciones ambientales previas a la ejecución del proyecto. Posteriormente, se describen los impactos ambientales generales y específicos de la PTAR y sus medidas mitigadoras correspondientes.

En este contexto, el estudio aborda tres los objetivos principales:

- Evaluar la situación ambiental actual de la zona de estudio
- Identificar los impactos ambientales que conlleva el proyecto, así como su magnitud y efecto en la zona de intervención.
- Estudio de las diferentes medidas para la mitigación de los impactos identificados. Estas medidas se clasificarán según dos criterios:
 - Según fase de aplicación: medidas en fase de construcción y medidas en fase de explotación
 - Según tipo de medida: preventivas, correctoras y compensatorias

4. Condiciones Ambientales Actuales

4.1. Condiciones climáticas

La Laguna de La Cocha, también conocida como Lago Guamuez, se localiza en el departamento de Nariño, en la región suroccidental de Colombia. Esta laguna andina tiene una altitud que varía entre los 2 680 y 2 830 metros sobre el nivel del mar, y cuenta con una superficie estimada de entre 40 y 41,5 km², lo que la convierte en la segunda fuente de agua dulce más importante del país por volumen.

El cuerpo de agua está alimentado por más de 20 afluentes naturales, siendo el principal el río Encano, cuyas aguas desembocan finalmente en el río

Putumayo. La cuenca hidrográfica que alimenta la laguna abarca aproximadamente 22 590 hectáreas, de las cuales alrededor de 4 200 hectáreas corresponden a espejo de agua. La profundidad máxima del lago se estima en 74–75 metros, y su volumen total aproximado es de 1 554 millones de metros cúbicos.

Desde el punto de vista climático, la zona presenta características propias del régimen de páramo húmedo, con temperaturas promedio anuales que oscilan entre los 11 °C y 12 °C. En sectores elevados como la Isla La Corota, ubicada dentro de la laguna, se han registrado temperaturas promedio de hasta 11 °C. La alta nubosidad y humedad relativa son comunes a lo largo del año, condiciones que inciden directamente en los procesos de evapotranspiración y en el comportamiento del ecosistema acuático.

La precipitación anual en la cuenca varía entre 1 600 y 2 400 milímetros, superando los 2 000 mm en zonas de mayor altitud. El régimen de lluvias presenta un patrón bimodal, con máximos en los periodos abril–julio y octubre–enero. Esta abundancia de lluvias, junto con el relieve montañoso y el nivel freático elevado de la zona, hace que la cuenca sea especialmente sensible a los cambios en el uso del suelo y a los vertimientos no controlados.

Estas condiciones climáticas e hidrológicas determinan la necesidad de seleccionar tecnologías de tratamiento de aguas residuales adaptadas a climas fríos y húmedos, que sean resistentes a la saturación de suelos y que no dependan de procesos sensibles a bajas temperaturas. Asimismo, el diseño de la infraestructura debe considerar eventos de lluvia intensa y garantizar que no se produzcan descargas de aguas residuales sin tratamiento hacia la laguna, por su alto valor ecológico y estratégico como sitio RAMSAR y patrimonio natural del país.

4.2. Condiciones de biodiversidad

La Laguna de La Cocha y su cuenca asociada albergan una biodiversidad excepcional que ha sido reconocida a nivel nacional e internacional. La zona es parte del Sistema de Parques Nacionales Naturales a través del Santuario de Flora Isla La Corota, y forma parte de la Lista de Humedales de Importancia Internacional (sitio RAMSAR) desde el año 2000.

Los ecosistemas predominantes corresponden a bosques andinos, humedales altoandinos y páramos, destacándose en particular la presencia de páramos azonales. A diferencia de los páramos típicos o zonales, que se

desarrollan en zonas altas por efecto de la altitud y el clima frío, los páramos azonales se forman localmente debido a condiciones edáficas y microclimáticas particulares, incluso a altitudes relativamente menores. En la cuenca de La Cocha, estos páramos azonales se manifiestan principalmente en zonas húmedas de origen volcánico, con suelos orgánicos muy ricos, alta humedad permanente y escasa intervención humana.

Estos ecosistemas cumplen funciones esenciales en la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono, la formación de suelo y la conservación de especies adaptadas a condiciones climáticas extremas. Albergan una alta diversidad de plantas vasculares endémicas, musgos, hepáticas, frailejones y arbustos del género *Polylepis*, además de fauna especializada como pequeños mamíferos, anfibios andinos y aves de alta montaña.

En conjunto, los páramos azonales, los humedales y los bosques riparios conforman una red ecológica frágil y de gran valor ambiental, que garantiza el equilibrio hidrológico de la laguna y sus comunidades. La alteración de estos hábitats por contaminación, obras civiles o cambios en el uso del suelo puede generar impactos irreversibles sobre la biodiversidad local.

Se han registrado más de 200 especies de aves, incluyendo especies endémicas y migratorias, como el mirlo acuático (*Cinclus leucocephalus*) y el zambullidor andino (*Podiceps occipitalis*). En cuanto a flora, se destacan especies hidrófitas, orquídeas, bromelias y musgos, muchas de las cuales cumplen un papel fundamental en la retención de humedad, la filtración de agua y la regulación hídrica.

En el entorno acuático de la laguna habitan especies de peces como el capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*) y otras introducidas como la trucha arcoíris, además de anfibios, reptiles y mamíferos propios del ecosistema andino. Los humedales y bosques de galería cumplen funciones críticas de regulación hídrica, depuración natural y conservación del paisaje.

Por estas razones, cualquier intervención en la cuenca debe incorporar criterios de precaución ambiental y protección activa de la biodiversidad, especialmente en lo que respecta a áreas de páramo y zonas de amortiguamiento ecológico.

4.3. Condiciones geológicas y geomorfológicas

La zona está marcada por la presencia de volcanes y fallas activas, como el Complejo Volcánico Patascoy, Cerro Campanero, Cerro El Estero y Cerro

Bordoncillo. Estos se convierten en fuentes de sismicidad continua y movimientos de tierra, aumentando el riesgo de deslizamientos, como se ha observado en laderas inestables cerca de deforestación o riberas desnudas

En las quebradas de la cuenca se da sedimentación intensa, con arrastre de lodo, piedras y materia vegetal. Esto provoca pérdida de capacidad hidráulica y alteración morfológica en periodos lluviosos

4.3.1. Erosión del suelo y uso del territorio

La práctica de agroganadería y monocultivo de papa y cebolla, junto a la deforestación, ha acelerado la erosión. Se han formado surcos que generan escurrimientos desestabilizadores

La pérdida de parcelación y diversidad agrícola (huertas) ha significado la declinación de cultivos tradicionales, reduciendo la cobertura vegetal protectora.

4.3.2. Características del suelo y drenaje

En la cuenca de La Cocha, el suelo cohesivo de páramo y humedales permiten baja infiltración, lo que aporta altas cargas de escorrentía y aumento del nivel freático.

4.3.3. Uso del suelo y cobertura vegetal

La zona comprende uso urbano, áreas agrícolas, vegetación natural y páramos, con explotación de áridos en cauces fluviales. Este mosaico funcional influye en la calidad del agua, hábitats y servicios ecosistémicos.

4.3.4. Calidad del agua

En proyectos PTAR comparables se han registrado valores elevados de coliformes, DBO entre 52-160 mg/L y DQO >100 mg/L, confirmando contaminación bacteriológica y orgánica

Estudios en la cuenca de La Cocha también identifican riesgos de exceso de nutriente y turbidez por sedimentos.

4.4. Aspectos sociales y económicos

En la cuenca hay coexistencia de poblaciones rurales vulnerables con actividad agrícola, lo que implica la necesidad de una intervención con enfoque participativo y que contemple prácticas sostenibles.

Pasados proyectos RAMSAR han evidenciado la pérdida de actividad tradicional campesina, provocando cambios en el paisaje sociocultural.

5. Análisis de Impactos

La construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Santa Isabel tiene como objetivo principal reducir la carga contaminante vertida a la cuenca de la Laguna de La Cocha. No obstante, el proyecto puede generar impactos ambientales tanto positivos como negativos, que deben ser debidamente evaluados, mitigados y compensados.

5.1. Impactos ambientales durante la construcción

Durante la etapa constructiva del sistema de saneamiento, que incluye las unidades de pretratamiento (desbaste, desarenado, desengrasado), el tanque Imhoff, el humedal subsuperficial y red de recolección, se pueden identificar los siguientes impactos ambientales:

- Afectación del suelo:

Las actividades de excavación y movimiento de tierras pueden generar compactación del terreno, pérdida de la capa fértil, erosión superficial y, en zonas con pendiente o suelos cohesivos, riesgo de deslizamientos locales.

- Contaminación de cuerpos de agua superficiales:

En presencia de escorrentía durante eventos de lluvia o mal manejo de materiales, pueden generarse arrastres de sedimentos y elevación de la turbidez en quebradas cercanas, afectando la calidad del agua.

- Alteración del nivel freático y riesgo de infiltración:

En zonas donde el nivel freático es alto, las excavaciones profundas (por ejemplo, para el tanque Imhoff o el humedal) pueden interferir con el flujo subterráneo o provocar ingreso de agua al área de trabajo, generando inestabilidad. También existe riesgo de contaminación del subsuelo si no se impermeabilizan adecuadamente las estructuras.

- Pérdida de cobertura vegetal:

La limpieza del terreno para instalar las unidades del sistema implica la remoción de vegetación natural o cultivada, lo cual reduce la biodiversidad local y puede favorecer la erosión si no se revegeta posteriormente.

- Perturbación de la fauna silvestre:

El ruido, las vibraciones y la presencia de maquinaria pueden desplazar temporalmente a aves, pequeños mamíferos o anfibios del área intervenida.

- Emisión de polvo y gases contaminantes:

El tránsito de maquinaria, acopio y movimiento de materiales generan emisiones de partículas (PM10) y gases (CO₂, NO_x), que afectan la calidad del aire a escala local.

- Alteración del paisaje:

La visibilidad de las obras, almacenamiento de materiales y movimiento constante de personal producen un impacto visual negativo sobre un entorno predominantemente natural y rural.

- Incremento del ruido ambiental:

Las actividades de excavación, uso de maquinaria pesada y corte de materiales generan un aumento temporal de los niveles sonoros, lo que puede afectar la tranquilidad del entorno.

- Interferencia social y posibles molestias a la comunidad:

La llegada de personal externo, el uso de caminos vecinales y la modificación temporal del entorno pueden generar incomodidades a los habitantes cercanos al área de obra, especialmente si no se ha realizado una adecuada socialización del proyecto.

- Generación de residuos sólidos de construcción:

Se producirán desechos como maderas, restos de hormigón, empaques, aceites usados y otros materiales, que deben ser gestionados correctamente para evitar contaminación del suelo o cuerpos de agua.

5.2. Impactos ambientales durante la operación

Una vez en funcionamiento, la planta de tratamiento y su red asociada pueden generar los siguientes impactos ambientales:.

- Generación de lodos biológicos:

El tanque Imhoff y el humedal generarán periódicamente lodos que deben ser extraídos, manejados y dispuestos adecuadamente. Si no se realiza un

manejo controlado, estos pueden generar malos olores, contaminación del suelo o proliferación de vectores.

- Emisión de olores:

Si el mantenimiento del sistema de pretratamiento (rejas y trampas de grasas) no es frecuente, pueden generarse olores molestos que afecten a los residentes cercanos, especialmente en condiciones de alta temperatura o estancamiento.

- Obstrucciones o reboses por mal mantenimiento:

La acumulación de sólidos en la red de recolección o en los sistemas de desbaste puede causar obstrucciones, reboses y vertimientos sin tratar al medio ambiente, especialmente durante lluvias intensas.

- Alteración de la dinámica natural del subsuelo:

En presencia de nivel freático elevado, si el humedal no está adecuadamente impermeabilizado, podría haber infiltración de agua residual al suelo, afectando su estructura y calidad.

- Impacto visual moderado:

Aunque el humedal subsuperficial se integra bien al paisaje, la infraestructura complementaria (cercas, tapas, estructuras visibles) puede generar una leve alteración estética si no se mimetiza adecuadamente con vegetación nativa o cerramientos apropiados.

- Necesidad de vigilancia y control técnico:

La operación del sistema exige la implementación de protocolos de monitoreo periódico (DBO, coliformes, sólidos, pH), así como registros de mantenimiento, lo que implica una carga operativa mínima que debe estar prevista desde la gestión comunitaria o institucional.

- Riesgo de impacto en caso de vertimientos accidentales:

Ante fallas del sistema o desbordes por falta de mantenimiento, existe riesgo de descarga de aguas sin tratar en cuerpos naturales o terrenos aledaños, lo que podría afectar la fauna, flora y calidad del agua superficial.

- Posible generación de residuos sólidos:

El desarenado y desengrasado periódicos generan residuos que deben ser retirados y dispuestos de forma segura, ya que contienen materia orgánica y contaminantes acumulados.

5.3. Impactos ambientales positivos de la operación de la PTAR

- Mejora de la calidad del agua en cuerpos receptores:

La PTAR reducirá considerablemente la carga orgánica, sólidos suspendidos, grasas, aceites y patógenos presentes en las aguas residuales domésticas antes de su descarga al medio natural. Esto contribuirá a recuperar y conservar la calidad del agua en quebradas, drenajes y eventualmente en la cuenca de la Laguna de La Cocha.

- Protección de la biodiversidad acuática y terrestre:

Al evitar vertimientos contaminantes, se favorecen las condiciones ecológicas de los ecosistemas ribereños y acuáticos. Esto beneficia directamente a especies sensibles, como macroinvertebrados, peces y aves dependientes de ambientes húmedos.

- Reducción de riesgos sanitarios para la comunidad:

Al eliminar focos de contaminación en vías públicas, canales abiertos y zonas cercanas a viviendas, disminuye la exposición a enfermedades de origen hídrico, mejorando la salud pública, especialmente en niños y adultos mayores.

- Recuperación paisajística a través del humedal artificial:

El humedal subsuperficial, correctamente diseñado e integrado con vegetación nativa, genera un espacio de valor ecológico y estético. Puede funcionar también como un área de amortiguamiento visual, refugio de fauna y zona de interpretación ambiental.

- Fortalecimiento de la cultura ambiental y la gestión comunitaria:
El funcionamiento de la PTAR con participación de la comunidad promueve buenas prácticas en el manejo del agua, separación de residuos y mantenimiento de la infraestructura, generando apropiación del sistema y conciencia ambiental colectiva.
- Cumplimiento normativo y acceso a recursos institucionales:

Contar con una planta operativa y con seguimiento técnico facilita el cumplimiento de la normativa ambiental (como la Ley 99 de 1993 y el RAS 2000), lo que puede habilitar el acceso a programas de apoyo, cofinanciación y reconocimiento institucional.

- Conservación de un entorno protegido:

Al estar ubicada en una cuenca reconocida como sitio RAMSAR y ecosistema estratégico (páramos azonales y humedales altoandinos), la PTAR contribuye a preservar un área de alto valor ecológico y cultural, apoyando compromisos nacionales e internacionales de conservación.

- Revalorización del territorio y del espacio rural:

La mejora en la calidad ambiental general incrementa la habitabilidad, el atractivo ecoturístico y el sentido de pertenencia de los habitantes, potenciando actividades sostenibles y alternativas productivas compatibles con la conservación.

6. Medidas de Mitigación de Impactos

6.1. Fase de Construcción

- MEDIDAS PREVENTIVAS
 - Plan de manejo de suelos: delimitar áreas de excavación, evitar remoción innecesaria de vegetación y aplicar estabilización temporal en taludes expuestos.
 - Control de escorrentía y sedimentos: instalación de zanjas, cunetas, barreras de retención y filtros de geotextil.
 - Programa de manejo de residuos: separación en obra, recolección diaria y disposición final en sitios autorizados.
 - Mantenimiento preventivo de maquinaria: para evitar fugas de aceite, diésel o grasas al suelo.
 - Socialización del proyecto con la comunidad: informar sobre los objetivos, duración y posibles molestias temporales.
- MEDIDAS CORRECTORAS

- Revegetación de áreas intervenidas: con especies nativas o adaptadas al entorno local, tan pronto se complete una fase constructiva.
- Control de polvo: riego de caminos sin pavimentar y cubrimiento de materiales sueltos.
- Reducción de ruido: limitar horario de actividades ruidosas (por ejemplo, entre 7:00 y 18:00), uso de silenciadores y barreras si es necesario.
- Gestión de lodos de excavación: confinamiento adecuado, secado y disposición conforme a normativa local.
- MEDIDAS COMPENSATORIAS
 - Reforestación o siembra compensatoria: de un número igual o superior de árboles o arbustos nativos en predios públicos o privados definidos por la comunidad o autoridad ambiental.
 - Fortalecimiento de capacidades locales: emplear mano de obra local y capacitarla en manejo ambiental básico.
 - Mejora de infraestructura comunitaria: rehabilitación de senderos, caminos o infraestructura afectada durante la obra.

6.2. Fase de Operación

- MEDIDAS PREVENTIVAS
 - Programa de mantenimiento rutinario: limpieza periódica de rejillas, trampas de grasas, desarenadores y sistema de drenaje del humedal.
 - Monitoreo de calidad del efluente: seguimiento mensual o trimestral de parámetros como DBO₅, SST, coliformes fecales, pH, entre otros.
 - Control de olores: revisión periódica del pretratamiento, limpieza regular y aplicación de cubiertas o biofiltros si es necesario.
 - Gestión segura de lodos: extracción planificada del tanque Imhoff, deshidratación y disposición controlada o compostaje.

- Capacitación del personal operador: en procedimientos de emergencia, operación básica y mantenimiento.
- MEDIDAS CORRECTORAS
 - Restauración de áreas alteradas: mantenimiento de cobertura vegetal, limpieza de reboses accidentales, rehabilitación de zonas impactadas por uso inadecuado.
 - Control de vectores y fauna: eliminación de condiciones de cría de mosquitos, roedores o insectos alrededor de los componentes.
- MEDIDAS COMPENSATORIAS
 - Integración paisajística del humedal: siembra de especies vegetales autóctonas, señalización ambiental y adecuación de senderos educativos si es pertinente.
 - Programa de educación ambiental comunitaria: sobre el ciclo del agua, la importancia del saneamiento y el cuidado del humedal artificial.
 - Reutilización del agua tratada o lodos (si técnicamente viable): en riego controlado de áreas verdes o compostaje agrícola a pequeña escala, con control sanitario.

7. Plan de Seguimiento Ambiental

Según el decreto 1076/2015 en su artículo 2.2.2.3.9.4, se debe utilizar el Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:

Estos son los elementos clave que todo programa de seguimiento ambiental debe considerar, según el Manual:

- Fases y Componentes
 - Seguimiento a la ejecución del Plan de Manejo Ambiental (PMA).
 - Verificación del cumplimiento normativo: licencias, permisos, concesiones.
 - Monitoreo ambiental: de indicadores físicos, químicos, biológicos y sociales.

- Evaluación del desempeño ambiental: cumplimiento, eficacia, mejoras necesarias.
- Gestión documental: informes, registros, fichas técnicas, bitácoras.
- Participación comunitaria y atención a quejas.
- Seguimiento a medidas compensatorias y restauración.
- Verificación del plan de contingencia y respuesta ante emergencias.
- Principios Clave
 - Periodicidad: las frecuencias deben ser definidas en función del impacto y riesgo.
 - Responsabilidad: se asignan responsables por indicador o componente.
 - Medición objetiva: los indicadores deben ser cuantificables o al menos verificables.
 - Comparación con metas: se evalúa si las medidas han cumplido su objetivo.
 - Transparencia: se documentan todos los hallazgos, incluso los fallos.

Vigilancia según partes de la obra

- Obras físicas e infraestructura
 - Estado de los taludes, canales, impermeabilización.
 - Vegetación y estabilización en el humedal artificial.
 - Integridad de la red de recolección.
- Calidad del efluente tratado
 - Monitoreo de DBO₅, SST, coliformes fecales, pH, nutrientes.
 - Comparación con valores permitidos en la resolución de vertimientos.
- Gestión de residuos y lodos

- Seguimiento al volumen de lodos retirados, frecuencia y sitio de disposición.
 - Manejo de residuos sólidos del pretratamiento (rejas).
- Gestión de olores y vectores
 - Verificación de fuentes de olores.
 - Revisión de condiciones para proliferación de insectos y roedores.
- Participación comunitaria
 - Registros de reuniones, visitas participativas, quejas recibidas.
- Condiciones ambientales del entorno
 - Estado del cuerpo receptor, escorrentías, filtraciones.
 - Cobertura vegetal circundante y efectos visuales.
- Documentación e informes
 - Uso de los formatos ICA.
 - Registro de todas las acciones y mediciones en campo.

8. Referencias

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). *Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos*. Bogotá.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (s.f.). *Normas técnicas colombianas y guías*. Obtenido de <https://www.mincit.gov.co/minturismo/calidad-y-desarrollo-sostenible/calidad-turistica/normas-tecnicas-colombianas-y-guias>

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000*. Bogotá.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Colombia. (2021). *Plan de Gestión de Residuos para Obras Civiles*. Bogotá.



ANEJO N°10: GESTIÓN DE RESIDUOS

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Normativa Aplicable	4
3. Objetivos del Plan de Gestión de Residuos	5
4. Identificación y clasificación de residuos	6
4.1. Clasificación normativa de residuos	6
5. Plan de Gestión de Residuos	8
5.1. Gestión y Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) 9	
5.2. Gestión y Manejo de Residuos Peligrosos (RESPEL)	10
5.3. Gestión y manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)12	
5.4. Gestión y manejo de Residuos Ordinarios	12
5.5. Almacenamiento en fase de construcción	13
5.6. Almacenamiento de residuos en fase de explotación	14
5.7. Registros y Control	14
5.8. Identificación por fase del proyecto	15
6. Referencias	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo formato ICA-2h. Fuente: Subdirección de Licencias Ambientales.....	15

1. Objeto

Este anejo tiene por objeto establecer los lineamientos generales que se deben seguir para la adecuada gestión de residuos generados durante la construcción y explotación de la PTAR. Las actividades desarrolladas se deben integrar dentro del Marco de Gestión Ambiental y Social del Proyecto Resiliente e Incluyente de Vivienda en Colombia (MGAS).

Se tratarán los requerimientos mínimos que deben ser considerados e integrados en los planes de gestión ambiental y social de las obras.

De esta manera, se establecerán las medidas a implementar para la gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), Residuos Peligrosos (RESPEL), Residuos de aparatos Electrónicos y Eléctricos (RAEE), Residuos Especiales y Residuos Ordinarios.

2. Normativa Aplicable

De manera más o menos similar al anejo 9 de Impacto Ambiental, se listan las leyes que son de aplicación para el desarrollo del presente anejo:

- Ley 99/1993: Establece los principios de la gestión ambiental y la obligación de prevenir impactos negativos.
- Decreto 1076/2015 donde se establece la obligatoriedad de que los proyectos de construcción contengan un programa de manejo y disposición adecuada de residuos.
- Resolución 472/2017 en el que se regula la gestión integral de residuos sólidos en todas las etapas: generación, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final. Es de especial importancia el Anexo IV en el que se propone un Plan de Gestión de Residuos para Obras Civiles.
- Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos (2002): requiere reportes específicos sobre manejo y disposición de residuos sólidos en el Formato ICA-2h, cuyo formato se muestra en el apartado 5.7 del presente anejo.

3. Objetivos del Plan de Gestión de Residuos

El presente Plan de Gestión de Residuos tiene como objetivo general establecer las directrices y acciones necesarias para asegurar una gestión ambientalmente adecuada de todos los residuos generados durante las fases de construcción, operación y mantenimiento del sistema de saneamiento, que incluye las unidades de pretratamiento, tanque Imhoff, humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y red de recolección.

Objetivo general:

- Garantizar la gestión integral de los residuos sólidos generados en el proyecto, minimizando su impacto ambiental y sanitario mediante su correcta identificación, clasificación, manejo, almacenamiento, transporte, aprovechamiento y disposición final, conforme a la normativa ambiental vigente en Colombia.

Objetivos específicos:

- Identificar y clasificar los distintos tipos de residuos generados en cada fase del proyecto, incluyendo residuos ordinarios, peligrosos, especiales y de construcción.
- Prevenir y minimizar la generación de residuos mediante estrategias de reducción en la fuente y aprovechamiento.
- Establecer protocolos de segregación, recolección y almacenamiento temporal que aseguren la integridad ambiental del sitio y la seguridad del personal.
- Garantizar el transporte seguro y la disposición final adecuada de los residuos a través de gestores autorizados, cumpliendo los requisitos establecidos por la autoridad ambiental.
- Promover la capacitación del personal involucrado en el manejo de residuos, asegurando su participación activa y consciente.
- Monitorear y documentar periódicamente los flujos de residuos generados y las acciones de manejo realizadas, para efectos de control interno y cumplimiento normativo.

4. Identificación y clasificación de residuos

La gestión adecuada de los residuos generados en el proyecto de construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es clave para prevenir impactos negativos sobre el suelo, el agua, el aire, la salud humana y la biodiversidad circundante. Para ello, es necesario identificar exhaustivamente los tipos de residuos que se pueden generar durante el ciclo completo del proyecto, clasificarlos conforme a la normativa vigente y anticipar su origen, peligrosidad y volumen estimado.

4.1. Clasificación normativa de residuos

De acuerdo con la normativa, los residuos sólidos se clasifican en:

- Residuos no peligrosos:
 - Aprovechables (cartón, papel, metales, plásticos, orgánicos)
 - No aprovechables (mezclas contaminadas, residuos de barrido, lodos descompuestos)
- Residuos peligrosos (RESPEL):
 - Definidos en el Decreto 1076/2015, un residuo o desecho peligroso es aquel residuo o desecho que, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas, puede causar riesgos, daños o efectos no deseados, directos e indirectos, a la salud humana y al ambiente. Así mismo, se considerará residuo peligroso los empaques, envases y embalajes que estuvieron en contacto con ellos. Estos son, por ejemplo:
 - Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.
 - Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.
 - Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.

- Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos.
- Compuesto de metales pesados.
- Polvos y restos de amianto (asbestos).
- Solventes orgánicos.
- Residuos de construcción y demolición (RCD): se encuentran definidos en la resolución 472/2017 y son los provenientes de las actividades de excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles o de actividades relacionadas. Estos a su vez, se pueden clasificar de la siguiente manera:
 - Residuos de construcción y demolición (RCD) susceptibles de aprovechamiento:
 - Productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros.
 - Productos de cimentaciones: arcillas, bentonitas y demás
 - Pétreos: hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros
 - No pétreos: vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimientos de zinc o estaño, plásticos tales como PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera o cartón-yeso, entre otros.
 - Residuos de construcción y demolición (RCD) no susceptibles de aprovechamiento:
 - Los contaminados con residuos peligrosos
 - Los que, por su estado, no puedan ser aprovechados

- Los que tengan características de peligrosidad, estos se registrarán por la normatividad ambiental especial establecida para su gestión
- Materiales sobrantes de excavaciones, hormigones, madera, acero, residuos cerámicos, empaques de materiales de construcción

5. Plan de Gestión de Residuos

Se presentan los requerimientos mínimos que se deben tener en cuenta previo al inicio de las actuaciones:

- Identificar y Clasificar los residuos que se generarán durante las obras
- Estimar la cantidad de residuos generados
- Planear la gestión y manejo de los residuos
- Prever los recursos materiales y humanos necesarios para el cumplimiento de las medidas planteadas
- Asignar un profesional responsable y competente en el área de medio ambiente que asegure el cumplimiento de las medidas planteadas.
- Cuando aplique, incorporar las recomendaciones descritas en las guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos (estas guías han sido expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia).
- Prever la sensibilización y capacitación para los trabajadores sobre los peligros y el manejo de estos, con énfasis en la gestión y manejo de RCD y RESPEL.
- Adoptar un plan de contingencia para atender cualquier accidente o eventualidad relacionada con el manejo de residuos peligrosos. De tratarse de derrames de sustancias peligrosas, el plan debe articularse con el Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en aguas Marinas, fluviales y Lacustres. Este punto presenta vital importancia, ya que, como se ha mencionado reiteradas veces, el proyecto se encuentra

ubicado en un Humedal Ramsar, lo que lo hace especialmente sensible a cualquier impacto que se puede generar.

5.1. Gestión y Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD)

Las medidas generales que se deben tener en cuenta para el manejo de RCD, según la resolución 427/2017:

- Los gestores responsables de RCD deben estar debidamente registrados ante la autoridad ambiental
- Las demoliciones se deben llevar a cabo únicamente en horario diurno (solo se pueden realizar actividades de demolición en horario nocturno si se cuenta con autorización de la autoridad ambiental competente)

Para la prevención y/o reducción de generación de RCD podemos listar:

- Si se puede recuperar, reciclar o reutilizar un material RCD resultante de la actividad que lo generó, el material no puede ser considerado como residuo sino como materia prima secundaria. Se intentará maximizar la reutilización de los materiales. Para dar un ejemplo: reutilización de suelos de excavación en rellenos y terraplenes, cuando estos suelos cumplen con los requerimientos geotécnicos.
- Los RCD deben recolectarse, almacenarse, transportarse y disponerse sin ser mezclados con otros tipos de residuos, en especial con RESPEL.
- Se debe mantener un registro de todos los RCD generados durante las actividades de obra por tipo de RCD

En cuanto a su recolección y transporte:

- Los vehículos empleados para el transporte de escombros deberán cubrirse con lona o geotextil para evitar la propagación y caída de material.
- El volumen de la carga no debe sobrepasar los bordes superiores del platón contenedor.
- Los vehículos de transporte de RCD deben cumplir con las normas vigentes de tránsito y transporte y de emisiones atmosféricas.

- Evitar la dispersión de partículas a la atmosfera durante el cargue y descargue de RCD, por ejemplo, mediante humectación de los materiales, previo a la carga o descarga.
- Se debe mantener registro de la cantidad entregada al transportista y la cantidad recibida por el ente gestor, para evitar la pérdida o abandono de RCD y asegurar que todas las cantidades fueron entregadas a los entes gestores.

Por su parte, las consideraciones en cuanto al almacenamiento:

- El almacenamiento de RCD debe ser diferenciado del almacenamiento de materiales de construcción (insumos), debe contar con barreas físicas que minimicen la contaminación visual, y el sitio debe estar debidamente señalizado.
- El almacenamiento temporal de RCD debe realizarse separando los residuos por tipo de RCD.
- De requerirse, el sitio de almacenamiento temporal de RCD debe contar con un mecanismo de evacuación de aguas lluvias, control de escorrentía y control de sedimentos.
- Los RCD almacenados de forma temporal, deben contar con un mecanismo que evite la dispersión de partículas a la atmosfera (por ejemplo, cubrir los materiales con lona, plástico, textiles, etc.).

Para la disposición final cuando estos no hayan conseguido cumplir otra función se deberán entregar a gestores de RCD que cuenten con autorización pertinente por parte de la autoridad ambiental.

5.2. Gestión y Manejo de Residuos Peligrosos (RESPEL)

Para la prevención/reducción de este tipo de residuos se debe tener en consideración el Decreto 1076/2015:

- Mientras se pueda utilizar o reutilizar un material resultante de la actividad que lo generó, el material no debe ser considerado como residuo o desecho sino como materia prima secundaria.
- Se debe evaluar la posibilidad de sustituir materias primas por otras menos peligrosas o sustituir tecnologías.
- Utilizar baterías y pilas recargables.

Para el almacenamiento temporal de estos:

- Los líquidos y gases clasificados como RESPEL deben estar contenidos en recipientes y depósitos.
- Identificar/etiquetar los RESPEL y comunicar los peligros asociados. Mantener en sitio, accesible y visible, las hojas de seguridad correspondientes a los componentes peligrosos del Residuo.
- Identificar y comunicar los EPP requeridos para la manipulación de RESPEL.
- Disponer de un Sitio exclusivo para el almacenamiento de RESPEL y limitar el acceso a personal no autorizado en obra. El Sitio de almacenamiento de RESPEL debe ser techado, ventilado y con superficie impermeable.
- Se debe evitar el almacenamiento conjunto de residuos peligrosas incompatibles.
- Señalizar el área de RESPEL de acuerdo con los peligros potenciales identificados.
- Contar con dispositivos de seguridad dentro del sitio de almacenamiento (extintor de fuego, botiquín de primeros auxilios, kit de derrames).
- Planear y ejecutar un programa de orden y aseo dentro del área de almacenamiento de RESPEL.
- Incorporar las recomendaciones para el almacenamiento de RESPEL descritas en las GUÍAS AMBIENTALES DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE POR CARRETERA DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS Y RESIDUOS PELIGROSOS, expedidas por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- El almacenamiento de líquidos clasificados como RESPEL debe tener un sistema de contención secundaria o contención de derrames.
- No se quemarán ni enterrarán los REPSEL bajo ningún concepto.

Para la recolección y transporte de los REPSEL:

- Se procederá a la identificación de estos y contratación de servicios de aprovechamiento, recolección y transporte con entidades que cuenten con licencias ambientales para operar como gestor de RESPEL.
- Se deberá mantener en todo momento la trazabilidad de RESPEL, la cantidad (en peso o volumen) la fecha de entrega, el gestor receptor, el vehículo de transporte (plan del vehículo) y el nombre del conductor (según Normativa).

Por ultimo, para su disposición final y de manera análoga a los RCD, se deberán contratar servicios de tratamiento y disposición final de RESPEL con entidades que cuenten con licencias ambientales para operar como gestor de RESPEL.

5.3. Gestión y manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)

Se deben identificar los RAEE, sobre todo las lámparas o bombillas utilizadas para iluminación cuando sea necesario para realizar los trabajos de obra. Además, se deben identificar los residuos peligrosos que puedan contener los RAEE identificados.

Por último, se debe mantener un inventario de los RAEE generados para ser tratados de manera análoga a los anteriores.

5.4. Gestión y manejo de Residuos Ordinarios

Para el manejo de los residuos ordinarios en la obra, se deben establecer e identificar puntos de acopio de residuos ordinarios dentro de la obra.

Por su parte, se debe capacitar y sensibilizar a todo el personal, sobre los tipos de residuos que se generan en obra.

Se dispondrán contenedores rígidos con tapa para la disposición en ellos de la basura generada en la obra (ejemplo, envases de comida, botellas, etc.). Además, se intentará implementar el código de colores para los contenedores según el plan nacional para reciclaje:

- Verde: residuos orgánicos
- Negro: residuos no reciclables
- Blanco: residuos reciclables

Se deberá identificar entidades y organismos de recolección y aprovechamiento de materiales reciclables que cumpla con estándares mínimos de seguridad y gestión laboral; para la gestión de plásticos, vidrios, metales, papel y cartón y residuos orgánicos.

Los residuos ordinarios no deben disponerse en botaderos a cielo abierto ni deben someterse a quema no controlada.

5.5. Almacenamiento en fase de construcción

Durante la ejecución, se habilitarán las siguientes áreas específicas para almacenamiento temporal:

a) Zona de residuos de construcción y demolición (RCD)

- Ubicación: próxima a las zonas de corte y relleno.
- Contenedor o superficie: bodega delimitada con piso compacto o losa; bolsas para residuos finos.
- Separación: se almacenarán por separado:
 - Aprovechables (pétreos, metálicos, plásticos)
 - No aprovechables (mezclados con concreto, contaminados)

b) Zona de residuos peligrosos (RESPEL)

- Ubicación: sector techado, ventilado y señalizado.
- Contenedor: recipientes plásticos rígidos con tapa hermética para aceites, pinturas, trapos impregnados, disolventes.
- Manejo: cada residuo será rotulado y se llevará registro de ingreso y salida.

c) Zona de residuos ordinarios

- Contenedor: recipientes plásticos o metálicos según tipo de residuo.
- Clasificación:
 - Orgánicos (restos de alimentos del personal)
 - Inorgánicos reciclables (plásticos, metales, papel)
 - No reciclables (sanitarios, mezclas sucias)

d) Zona de almacenamiento de material vegetal removido

- Destino: compostaje en predio, uso como cobertura o disposición en sitio autorizado si no es reutilizable.

5.6. Almacenamiento de residuos en fase de explotación

a) Área de almacenamiento de sólidos cribados y arenas

- Ubicación: próxima al módulo de pretratamiento.
- Condiciones: piso impermeable, cubierto, con drenaje cerrado.
- Contenedor: bandejas de acero o tanques plásticos cerrados.

b) Área de almacenamiento de lodos

- Tipo de lodo: provenientes del tanque Imhoff y zonas del humedal.
- Tratamiento en sitio: deshidratación en eras de secado.
- Frecuencia: mínimo 1 vez cada seis meses (según volumen acumulado).
- Manejo posterior: utilización con fines agrícolas cumpliendo con el Decreto 1287/2014 de biosólidos.

c) Residuos de poda del humedal

- Destino: compostaje, disposición controlada.
- Frecuencia: estacional o bajo monitoreo de saturación.

5.7. Registros y Control

Por último, se deberá llevar un registro y control de la gestión de los residuos:

- Bitácoras de residuos: se llevará una hoja de control con:
 - Tipo de residuo, cantidad, fecha de generación, responsable.
 - Fecha de retiro, transportador y destino final.
- Formatos ICA: se diligenciará el Formato ICA-2h del Manual de Seguimiento Ambiental para reportes semestrales a la autoridad competente

ESTADO DEL MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS														FORMATO: ICA-2h Hoja de _			
ESTADO DEL PERMISO, AUTORIZACION, CONCESION O LICENCIA																	
1. OTORGADO										2. EN TRÁMITE							
Nº y fecha acto administrativo		Autoridad ambiental competente				Vigencia				Tipo		Fecha de radicación		Autoridad competente			
										Nuevo		Renovación o modificación					
ESTADO DE CUMPLIMIENTO (INDICADORES DE CUMPLIMIENTO)																	
3. USO DEL RECURSO																	
Tipo de residuos					Fuente de generación	Cantidades/toneladas		Sistema de tratamiento					Sitio de disposición			PMA relacionados	
Nº	Domésticos	Industriales	Hospitales	Otros		Autorizados	Disponibles	Lixiviados	Relevo sanitario	Botadero	Incineración	Otro	Nombre	Vida útil	Localización y coordenadas/origen		
4. MONITOREO E INSPECCIÓN AMBIENTAL												5. NORMA NACIONAL /INTERNACIONAL		6. COMPROMISO EN EL ESTUDIO AMBIENTAL		7. PROGRAMAS DE MANEJO AMBIENTAL RELACIONADOS	
Nº	Parámetros				Unidad de medición	Valor	Método de toma de muestra	Método de análisis	Fecha de muestreo	Localización de punto de muestreo	Nº norma	Valor	Valor				
Observaciones generales:												PROFESIONAL RESPONSABLE Nombre: Firma:					

Figura 1: Ejemplo formato ICA-2h. Fuente: Subdirección de Licencias Ambientales

5.8. Identificación por fase del proyecto

Por último, se describen los residuos que se generarán en el proyecto de la planta según su fase del proyecto

Durante la fase de construcción

- En obras de pretratamiento (desarenador, desengrasador, rejillas):
 - Fragmentos de hierro galvanizado o acero (rejillas)
 - Restos de concreto, madera y formaletas
 - Bolsas plásticas de insumos (cemento, aditivos)
 - Residuos de soldadura y metalmecánica
 - Pinturas, disolventes y envases contaminados (RESPEL)
 - Aceites usados de mantenimiento de equipos (RESPEL)
 - Material vegetal extraído para limpieza de área

- En la instalación del tanque Imhoff:
 - Excavación de suelos arcillosos o cohesionados (movimiento de tierras)
 - Rellenos sobrantes y material de rezaga
 - Residuos orgánicos del personal en obra (comida, envases)
 - Restos de limpieza de herramientas (lubricantes, agua contaminada)
- En el humedal artificial:
 - Tierra vegetal desplazada
 - Restos de tubería de PVC
 - Lonas geotextiles cortadas, sobrantes
 - Material vegetal (raíces, plantas cortadas, maleza)
 - Sacos de grava y arena vacíos
 - Mangueras de riego, bolsas de plantas
 - Palets, envoltorios de materiales
- En la red de saneamiento (tuberías, pozos, cajas):
 - Tramos sobrantes de tubería
 - Excavación de zanja y residuos del relleno
 - Envases de lubricantes y aditivos (RESPEL)
 - Plásticos de envoltura, cartón y cinta
 - Restos de concreto de anclajes de pozos

En fase de explotación

La operación de la PTAR también genera residuos constantes, aunque en menor volumen, con características sanitarias relevantes que deben ser gestionadas con atención. Estos incluyen:

- Del pretratamiento: el impacto que generan estos residuos son, por ejemplo, alta carga bacteriológica, vectores, olores desagradables y son generados por:

- Sólidos retenidos en las rejillas (restos de comida, trapos, papeles)
 - Arenas y sedimentos
 - Grasas y espumas
 - Envases de productos de limpieza
- Del Tanque Imhoff: el riesgo que suponen estos residuos reside en que, si no se deshidratan y disponen adecuadamente, pueden contaminar el suelo o cuerpos cercanos. Los residuos generados en el tanque son:
 - Lodos sedimentados de alta carga orgánica
 - Espumas flotantes si no se controla bien la entrada de grasas
 - Agua residual en etapa de mantenimiento
 - Elementos de limpieza contaminados (trapos, baldes, guantes)
- Del Humedal Artificial: se requiere control de estos residuos para evitar olores desagradables (aunque el humedal ya de por sí los reduce). Además, se debe tener especial cuidado en evitar que los residuos puedan contribuir al taponamiento y colmatación. Los residuos que se deben extraer son:
 - Vegetación muerta o podada periódicamente (raíces, tallos)
 - Posibles lodos acumulados al pie de las zanjales (colmatación)
 - Plásticos y sólidos que evadieron el pretratamiento
 - Filtros vegetales y gravas contaminadas en procesos de renovación
- Otros residuos operativos:
 - Residuos de mantenimiento de bombas, compuertas o registros
 - Papel de los registros, empaques, basura del voluntario que cumpla la función de gestor de residuos y encargado de las limpiezas
 - Aceites, grasas, trapos y guantes (RESPEL)

6. Referencias

- CEDEX, M. d. (2021). *Manual para la Implantación de Sistemas de Depuración en Pequeñas Poblaciones*. Madrid.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). *Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos*. Bogotá.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000*. Bogotá.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Colombia. (2021). *Plan de Gestión de Residuos para Obras Civiles*. Bogotá.
- Gobierno de Colombia - ANLA. (s.f.). *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales*. Obtenido de <https://www.anla.gov.co/seguimiento-de-licencias-ambientales/como-esta-integrada>

ANEJO N°11: CONTROL DE CALIDAD

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Plan de Control de Calidad (PCC)	4
2.1. Organización del Sistema de Control de Calidad	4
2.1.1. Condiciones Generales del Plan de Control de Calidad	4
2.1.2. Responsabilidades	5
2.2. Revisión del Manual de Control de Calidad	7
2.2.1. Características	7
2.2.2. Proceso	8
3. Controles Generales	9
3.1. Control de Materiales	9
3.1.1. Control de Calidad del Hormigón	10
3.1.2. Control de Calidad del Morteros	10
3.1.3. Acero para Armaduras	11
3.1.4. Tuberías de PVC	11
3.1.5. Geomembrana (humedal)	11
3.2. Control Geotécnico y de Movimiento de Tierras	12
3.3. Control de Procesos Constructivos	13
3.3.1. Control de Hormigonado	14
3.3.2. Control de Colocación de Conducciones (Tuberías y Accesorios)	14
3.3.3. Control de Elementos Metálicos Estructurales y No Estructurales	15
3.3.4. Control de Acabados y Detalles Estéticos	15
3.3.5. Control de Instalaciones y Equipos Específicos	16
3.4. Control del Agua Tratada	17

3.5.	Control de Seguridad y Salud	18
3.6.	Control Ambiental	19
3.7.	Control de Documentación y Gestión de Calidad.....	20
4.	Programa de Puntos de Inspección.....	21
5.	Protocolo de Pruebas en Obra.....	23
6.	Dossier Final de Control de Calidad.....	25
7.	Referencias.....	25

1. Objeto

El presente Anejo describe detalladamente el Plan de Control de Calidad (PCC) para la construcción y puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) proyectada.

El objetivo de este Plan de Control de Calidad es garantizar que todas las etapas de la obra, los materiales, equipos e instalaciones cumplan con los estándares de calidad exigidos por la normativa colombiana vigente y por las especificaciones técnicas del proyecto. Dado que el proyecto se ejecuta en Colombia, se adoptarán como referencia principal las normativas técnicas colombianas aplicables, y en su defecto, normas internacionales ISO, ASTM u otras equivalentes de reconocida aplicación. En todo momento se asegurará el cumplimiento de los requisitos legales locales y las exigencias de los organismos de control competentes, incluyendo las autoridades ambientales regionales y la interventoría técnica de la obra.

2. Plan de Control de Calidad (PCC)

2.1. Organización del Sistema de Control de Calidad

2.1.1. Condiciones Generales del Plan de Control de Calidad

El Plan de Control de Calidad será de cumplimiento obligatorio para todos los agentes participantes en la obra. En términos generales, este PCC establece las disposiciones y procedimientos necesarios para asegurar que la construcción de la PTAR se realice conforme a los estándares de calidad predefinidos, evitando desviaciones que puedan afectar la funcionalidad, seguridad o durabilidad de la infraestructura. El plan se elabora conforme a la reglamentación colombiana vigente en construcción de obras civiles de saneamiento, adaptando las condiciones particulares del proyecto a los requisitos normativos nacionales. Esto implica el cumplimiento de las especificaciones técnicas del diseño, los requisitos mínimos del Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000), así como de los estándares de calidad aplicables a materiales y procesos constructivos.

En la implementación de este PCC se consideran los siguientes principios generales:

- Planificación de la Calidad: Se definen criterios de aceptación y métodos de control para cada actividad de la obra antes de su ejecución. Esto incluye la elaboración de procedimientos escritos, listas de chequeo y puntos de inspección programados en las distintas fases constructivas.
- Prevención de No Conformidades: El plan enfatiza la prevención, de modo que los problemas se eviten más que corregirse a posteriori. Se establecen medidas para identificar riesgos de calidad en etapas tempranas y así aplicar acciones preventivas.
- Documentación y Rastreabilidad: Todas las actividades de control quedarán documentadas. Los resultados de ensayos, inspecciones, no conformidades y acciones correctivas se registrarán de manera que exista evidencia objetiva del cumplimiento de las especificaciones. La documentación generada formará parte del dossier de calidad del proyecto, disponible para auditorías internas o de autoridades externas.
- Mejora Continua: Aunque el proyecto de construcción es de naturaleza finita, se fomentará una cultura de mejora continua. Las lecciones aprendidas durante la ejecución (por ejemplo, ajustes necesarios en procedimientos de obra para mejorar la calidad) serán recopiladas y analizadas para retroalimentar al equipo y, si es posible, introducir mejoras inmediatas en el PCC. Asimismo, se mantendrá apertura para actualizar el plan ante cambios normativos, nuevos estándares técnicos o recomendaciones de la interventoría.

2.1.2. Responsabilidades

La organización del sistema de control de calidad contará con roles y responsabilidades claramente definidos para garantizar la implementación efectiva del PCC:

- Promotor: Es el responsable último de que la obra cumpla con los objetivos de calidad. Debe proporcionar los medios necesarios (recursos financieros, contratación de personal competente, designación de interventoría, etc.) para ejecutar el plan de calidad. Participa en la aprobación del PCC y vela porque el contratista y el interventor lo apliquen correctamente.
- Dirección de Obra: En el contexto colombiano, la Dirección de obra actúa como garante del cumplimiento del PCC en obra. Todas las

prescripciones técnicas establecidas en este documento serán de estricto cumplimiento, debiendo existir un responsable (interventor residente) encargado de verificar su correcta aplicación en cada fase (conforme al RAS 2000). La Dirección de obra tiene la facultad de inspeccionar y aprobar cada actividad relevante, verificando que se siguen los planos y especificaciones del diseño. Si se incumple alguna especificación técnica (sea en materiales, ejecución de unidades de obra o controles asociados), la Interventoría ordenará de inmediato las medidas correctivas necesarias. Además, será quien apruebe los procedimientos de ensayo, la frecuencia de muestreo y el número de pruebas de calidad a realizar, interpretando sus resultados y definiendo explícitamente la conformidad o no conformidad de los materiales y procesos conforme a normas técnicas.

- **Contratista:** El Contratista es el encargado de ejecutar físicamente la obra conforme a los planos y especificaciones, pero también es responsable de la calidad de los trabajos realizados. Debe implementar un Sistema de Aseguramiento de la Calidad en obra, que incluya personal calificado (un Jefe de Control de Calidad dentro de su equipo, por ejemplo), procedimientos de ensayo, controles internos y registros. El Contratista está obligado a utilizar materiales que cumplan con los requisitos de calidad especificados y a aportar los certificados de conformidad de dichos materiales cuando el reglamento o la Dirección de obra lo exija. Asimismo, debe someterse a las inspecciones de la Dirección, corregir cualquier defecto o desviación que se detecte y proponer soluciones técnicas para las no conformidades en caso de presentarse. Es importante resaltar que cualquier deficiencia constructiva o incumplimiento de calidad será responsabilidad exclusiva del Contratista, quien deberá asumir los costos de retrabajo, reparación o indemnización que correspondan.
- **Personal de Obra y Subcontratistas:** Cada integrante del equipo de obra (maestros, operarios, técnicos) y empresas subcontratadas (por ejemplo, para instalaciones específicas) tiene el deber de seguir los procedimientos de calidad establecidos. Deben estar formados en las tareas que realizan y conscientes de los criterios de aceptación. Cualquier miembro del personal que detecte una potencial no conformidad debe informar al Jefe de Control de Calidad o al supervisor correspondiente.

- **Laboratorios y Entes Certificadores:** Los laboratorios externos que realicen ensayos de control (p. ej., ensayos de concreto, caracterización de suelos, pruebas de agua tratada) deben estar acreditados según las normas nacionales (las exigidas por el IDEAM para laboratorios ambientales) y serán contratados preferiblemente por la Dirección de Obra o con aprobación de esta, para garantizar independencia. De igual forma, si se requieren certificaciones específicas, se recurrirá a organismos acreditados reconocidos por las autoridades colombianas.
- **Autoridades de Control:** Las agencias gubernamentales pertinentes, como la autoridad ambiental regional (CAR) de la zona o la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, entre otras, también cumplen un rol de control. Durante la ejecución, pueden realizar visitas o auditorías para verificar el cumplimiento de la normativa ambiental y de calidad. Adicionalmente, al finalizar la obra, será necesaria la obtención de permisos y certificaciones de ente regulador: por ejemplo, la CAR deberá verificar que la PTAR cumple con los estándares de vertimiento de efluentes antes de autorizar su operación. Es responsabilidad del equipo de proyecto facilitar las inspecciones oficiales y entregar la documentación que estas entidades requieran.

En resumen, la responsabilidad de la calidad es compartida pero diferenciada: el Promotor garantiza medios, la Dirección de Obra supervisa e impone controles, el Contratista ejecuta conforme a calidad, y todos los actores colaboran para lograr los objetivos de calidad establecidos en el PCC.

2.2. Revisión del Manual de Control de Calidad

El presente PCC puede considerarse como un “manual” o documento guía de control de calidad para la obra. Es esencial que este documento se mantenga actualizado y ajustado a las necesidades y normativas vigentes a lo largo del proyecto.

2.2.1. Características

La revisión del PCC atenderá a las características específicas del proyecto y a los requisitos normativos aplicables en cada etapa. Esto significa que el manual debe permanecer alineado con las normativas colombianas vigentes, estándares técnicos actualizados y especificaciones del proyecto. Por

ejemplo, si durante el periodo de ejecución entrara en vigor alguna nueva norma técnica relevante, se evaluará la necesidad de incorporar dichos cambios en el plan. El manual de calidad debe ser un documento vivo, capaz de adaptarse a cambios en las condiciones del proyecto o en el entorno regulatorio.

En cada revisión se prestará atención a:

- **Integridad y Cobertura:** Verificar que todos los procesos constructivos, materiales y elementos de la PTAR estén considerados en el PCC. Si se introduce una nueva partida de obra o se modifica el diseño, el plan de calidad deberá ajustarse para incluir controles adecuados a esa nueva situación.
- **Cumplimiento Normativo y Mejora Continua:** Asegurar que el manual sigue cumpliendo con los requisitos legales y normativos aplicables, incorporando además el compromiso de mejora continua. Cualquier deficiencia detectada en versiones anteriores del plan o lecciones aprendidas se reflejarán como mejoras en la revisión. Por ejemplo, si en la práctica se identificó que cierto criterio de inspección era demasiado genérico, en la revisión puede detallarse más para evitar interpretaciones ambiguas.
- **Consistencia con otros Documentos:** El PCC forma parte del conjunto documental del proyecto. En cada revisión se comprobará que no existan contradicciones entre el plan de calidad y otros documentos. De haberlas, se unificarán criterios o se realizarán las correcciones pertinentes para mantener coherencia en todo el proyecto. En su defecto, se atenderá al orden de prioridad de los documentos y prevalecerá el más importante.

2.2.2. Proceso

El proceso de revisión del PCC se realiza con el fin de asegurar que el manual se mantenga en vigor, siendo relevante y efecto a lo largo de la ejecución del proyecto. Para esto se realizarán las siguientes actividades:

- **Detección de Necesidades:** La necesidad de revisar el manual puede originarse por diversos motivos; cambios en normativas o estándares industriales, modificaciones al alcance o diseño del proyecto, recomendaciones de la Dirección, no conformidades repetitivas que

sugieran una falla en el plan, o incluso sugerencias del personal involucrado en obra.

- **Reunión de Revisión:** El Jefe de Control de Calidad del Contratista, junto con representantes de la Dirección y, de ser necesario, del Promotor, se reunirán para analizar los cambios requeridos.
- **Elaboración de Modificaciones:** A partir del análisis, se redactarán las modificaciones propuestas al manual. Cada cambio irá acompañado de una justificación técnica. Se detallará qué secciones del documento se modifican.
- **Aprobación e Implementación:** Las modificaciones propuestas se presentarán a la Dirección de Obra para su aprobación. Solo después de la aprobación formal, la nueva versión del PCC entrará en vigor. El Contratista ajustará sus procedimientos internos acorde a la nueva versión y la Dirección vigilará su cumplimiento.
- **Registro de Revisiones:** Cada versión revisada del PCC llevará un registro documental: número de versión, fecha de emisión, modificaciones realizadas y firma de aprobación por parte de las partes responsables. Este historial de revisiones quedará anexo al plan, de forma que en cualquier momento se pueda rastrear la evolución del documento y entender por qué se hicieron ciertos ajustes.

3. Controles Generales

Estos controles generales abarcan desde la recepción de materiales hasta la verificación de procesos constructivos y del producto final (agua tratada), incluyendo también aspectos estructurales, instalaciones, seguridad laboral, medio ambiente, acabados y documentación. A continuación, se detallan cada uno de estos controles generales:

3.1. Control de Materiales

Este control busca asegurar que todos los materiales incorporados a la obra cumplan con las especificaciones técnicas y normas de calidad aplicables.

Verificación de Calidad de Recepción: Cada lote de materiales que ingrese a la obra será inspeccionado. Se revisarán certificados de calidad y conformidad normativa provistos por el fabricante o proveedor. En Colombia

no se exige el marcado CE, pero si se exigirá que los productos cumplan con normas técnicas nacionales o internacionales y, en su caso, cuenten con aprobaciones de entidades como ICONTEC, ONAC o similares.

3.1.1. Control de Calidad del Hormigón

- Áridos: Los agregados finos y gruesos deben ser caracterizados:
 - Granulometría de agregados: Se tamizarán las muestras de arena y grava para asegurar que cumplen con la curva granulométrica especificada en la dosificación (NTC 77 para arena, NTC 78 para grava).
 - Absorción y Humedad: Se determinarán las absorciones de los agregados para ajustar la relación agua-cemento efectiva en la mezcla. También la humedad del agregado en el momento de mezclado para no sobrepasar agua.
 - Contaminantes: Ensayos de impurezas orgánicas en arena (ASTM C40), contenido de arcilla en terrones (ASTM C142) en grava, etc., para asegurar pureza de los agregados.
- Hormigón Fresco y Endurecido:
 - Consistencia: Cada lote de hormigón fresco a colocar se ensayará con el cono de Abrams (NTC 396).
 - Temperatura: Se medirá la temperatura del hormigón fresco para asegurar que esté por debajo de 32°C. Sin embargo, dadas las condiciones del lugar, esto será poco probable.
 - Cilindros de Resistencia: Se confeccionarán probetas cilíndricas estándar (15x30 cm, NTC 550) de cada lote de concreto. Al menos 2 cilindros por cada 20-30 m³ colocados, o por jornada, lo que sea mayor. Estos cilindros se curarán y ensayarán a compresión a 7 días y 28 días según NTC 673.

3.1.2. Control de Calidad del Morteros

- Morteros: Si se utilizan morteros de pega (por ejemplo para mampostería o para recubrimientos), se controlará proporciones y consistencia. Se podrían hacer cubos de mortero (ASTM C109) para verificar resistencia a 7 y 28 días. También controlar que la arena de mortero esté libre de arcilla.

3.1.3. Acero para Armaduras

- **Certificados de Fabricación:** Todo acero de armado que llegue debe venir con certificado de calidad del productor (Diámetro, fluencia $\geq$ 420 MPa si es grado 60, elongación, etc.).
- **Ensayo de Tracción:** Si el Director lo considera, se tomarán barras de muestra (generalmente un trozo de cada diámetro utilizado) para ensayarlas a tensión en un laboratorio, verificando la resistencia y ductilidad. Esto se hace a veces cuando se duda del origen del acero. La norma base es NTC 2289.
- **Doblado y Soldadura:** Se controlará que las dobladoras no agrieten las barras (respetar diámetros mínimos de doblado según norma).
- **Control de Colocación:** es crítico más que nada la correcta colocación. Un acero bien ensayado pero mal colocado resultará en mala calidad estructural.

3.1.4. Tuberías de PVC

- **Verificación de Normas:** Las tuberías deben cumplir la norma NTC 3722-3 de fábrica. Se solicitará certificado de lote y se pueden medir espesores o diámetros de muestra para confirmar.
- **Pruebas de Estanqueidad:** Un control específico es la prueba de presión o estanqueidad de tramos de tubería enterrada. Estos detalles los definirá la Dirección de Obra conforme a RAS.

3.1.5. Geomembrana (humedal)

- **Prueba de Estanqueidad:** Una vez instalada la geomembrana, antes de colocar el relleno encima, se puede llenar con agua por tramos para ver que no baje el nivel. Se aplicará la NTC 5528. En este caso, la inspección visual y aseguramiento de juntas será probablemente suficiente, dada la escala.

Resumiendo, el control de materiales de obra civil mediante estos ensayos específicos permite confirmar con datos objetivos que cada material colocado tiene las propiedades requeridas. Los resultados de ensayos se compararán contra los criterios de aceptación normativos o de diseño; solo si cumplen se continuará con la siguiente fase.

3.2. Control Geotécnico y de Movimiento de Tierras

Este control abarca las medidas para asegurar que las condiciones del terreno y las actividades de movimiento de tierra y cimentaciones no comprometan la estabilidad ni la calidad de la PTAR:

- **Estudios Geotécnicos:** Se deberá realizar un estudio geotécnico detallado in situ (calicatas, sondeos, etc.) y el control de calidad velará porque las recomendaciones del estudio geotécnico se cumplan en obra.
- **Verificación de Capacidad Portante in situ:** Antes de cimentar estructuras pesadas (como los tanques prefabricados Imhoff), la Dirección de Obra inspeccionará la excavación terminada para asegurarse de que el estrato de apoyo corresponde al esperado. De ser necesario, se podrán realizar pruebas de campo como ensayos de placa de carga sobre el terreno de cimentación. Si el terreno no cumple, se ordenará compactar el fondo o reemplazar material hasta lograr la capacidad requerida.
- **Control de Excavaciones:** Las excavaciones (zanjas para tuberías, cimientos para el humedal y tanque Imhoff, fosas de las eras de secado, etc.) deberán ejecutarse con las pendientes y sostenimientos necesarios para evitar derrumbes. Se inspeccionará que no haya socavamientos ni inestabilidad en taludes. Durante la excavación, se vigilará la presencia de agua subterránea; si se detecta, se implementarán sistemas de bombeo o drenaje temporal para mantener la excavación seca durante la construcción. Las dimensiones de la excavación se comprobarán con ayuda de los planos (largo, ancho, profundidad) y se registrarán en formatos de inspección.
- **Rellenos y Compactación:** Todo material de relleno (por ejemplo, relleno alrededor de los tanques prefabricados o relleno de zanjas de tuberías) debe colocarse en capas adecuadas y compactarse al porcentaje Proctor especificado. El control geotécnico contempla ensayos Proctor y densidades in situ: se moldearán probetas de suelo representativo para obtener la densidad seca máxima y humedad óptima y luego en obra se realizarán pruebas de compactación. La frecuencia de estos ensayos seguirá lineamientos normativos.

- **Estabilidad de Taludes y Estructuras de Contención:** Si el proyecto contempla taludes permanentes (por ejemplo, un corte en tierra para alojar parte del humedal) o pequeñas estructuras de contención (muros perimetrales de las eras de secado), se controlará su estabilidad. En taludes, se corroborará que la pendiente es la indicada y que se implementan medidas de protección superficial (cobertura vegetal, geotextil, etc., para prevenir erosión). En muros, se supervisará que la cimentación y anclajes se hagan según planos y que el relleno detrás se compacte adecuadamente para evitar empujes no previstos.
- **Prevención de Asentamientos Diferenciales:** Dado que la PTAR combina componentes prefabricados y obras in situ, es crucial que los asientos del terreno sean mínimos y uniformes. El control geotécnico exige que, por ejemplo, bajo los tanques prefabricados se disponga una base firme (podría ser una losa de reparto de concreto pobre o una capa de material granular compactado) que distribuya cargas. También se monitoreará durante el llenado inicial de los tanques o humedal si se observan asentamientos significativos; se podrían instalar referencias de nivel para verificar que las estructuras no sufran hundimientos diferenciales durante la construcción o llenado.
- **Cumplimiento Normativo:** Todas estas actividades se realizan conforme a las normas y guías geotécnicas pertinentes. En Colombia, se toman como referencia las normas del AIS (Asociación de Ingeniería Sísmica) integradas en el Código NSR-10 para aspectos de cimentaciones, así como recomendaciones internacionales (ASTM D1557 para Proctor modificado, etc.). El RAS 2000 también enfatiza la necesidad de supervisión geotécnica en proyectos de agua, por lo que la Dirección verificará este aspecto con rigurosidad.

3.3. Control de Procesos Constructivos

Este control se refiere a la supervisión de los métodos y técnicas de construcción empleados en las distintas unidades de obra, asegurando que se apegan a los planos, especificaciones técnicas y normativas vigentes. Estos controles durante la ejecución de hormigones y conducciones aseguran que los elementos se construyan correctamente desde el primer momento, previniendo reparaciones costosas después. El éxito de la calidad radica en la vigilancia continua y en probar cada sistema antes de darlo por finalizado.

Los puntos clave son:

3.3.1. Control de Hormigonado

Los principales controles son:

- Preparación del hormigón: Selección de materiales, dosificación y mezclado.
- Transporte del hormigón: Tiempo y condiciones de transporte.
- Colocación del hormigón: Preparación de encofrados y armaduras, vertido del hormigón y vibrado. Se controlará que la colocación sea continua, evitando juntas frías. El vibrado debe ser completo, evitando segregar. Un miembro de calidad o de la Dirección estará presente controlando la secuencia de vaciado, y haciendo los ensayos correspondientes mencionados. Inmediatamente terminado, verificar acabados superficiales (nivelar si es losa, alisar si requiere acabado especial). Comprobar que se inicia el curado rápidamente. Se registrará hora de hormigonado y código de los cilindros fabricados para ese elemento.
- Curado del hormigón: Métodos y duración del curado.
- Ensayos y pruebas: los descritos anteriormente
- Control documental: Registro de actividades, Certificados y reportes.

3.3.2. Control de Colocación de Conducciones (Tuberías y Accesorios)

- Tendido de Tuberías: Al colocar tuberías enterradas, se verificará la cama de apoyo (arena o material fino de 10 cm), luego la alineación y pendiente de la tubería con nivel. Cada junta se inspecciona que el anillo de goma esté bien colocado y la tubería debidamente embonada hasta la marca. Antes de tapar, se hará pasar una bola o para asegurarse que no hay obstrucción.
- Pruebas de Estanqueidad de Redes: Como se mencionó anteriormente, se puede hacer prueba de infiltración. Hay que considerar que la norma RAS permite cierta exfiltración/infiltración máxima. Se medirá llenando la tubería, se hace inspección visual de juntas y filtraciones. Las cámaras de inspección o cajas también deben

ser estancas; se puede hacer prueba llenándolas de agua y viendo descenso de nivel en 30 min.

- **Relleno de Zanja:** Se controlará que el relleno sobre la tubería se haga en capas delgadas y a mano inicialmente (hasta 30 cm encima de la generatriz superior) para no dañar la tubería, compactando ligeramente a mano alrededor de ella. Luego capas con maquinaria ligera. Se controlará la compactación lateral bien para que no se deforme. Se inspeccionará visualmente una vez acabado.
- **Válvulas:** Cualquier válvula instalada se probará manualmente varias veces para confirmar que sella bien y opera suave. Si hay medidores, se calibran. Las conexiones roscadas se harán con sellante adecuado para evitar goteos.
- **Limpieza:** Antes de la entrega, se limpiarán las tuberías internamente de sedimentos o escombros. Así, al poner en marcha, no arrastrará nada indeseado a las unidades de tratamiento.

3.3.3. Control de Elementos Metálicos Estructurales y No Estructurales

Se deberá controlar la fabricación y montaje de los elementos metálicos existentes en la obra civil (por ejemplo, una reja manual, compuertas, soporte de tuberías, etc.). Las soldaduras serán inspeccionadas visualmente. Se verificará la correcta protección anticorrosiva. Las uniones atornilladas se revisarán, aplicando torque adecuado según especificación.

3.3.4. Control de Acabados y Detalles Estéticos

Aunque se trata de instalaciones funcionales industriales, no se debe descuidar la calidad de los acabados finales y la integración estética de la obra con su entorno, en la medida de lo posible:

- **Inspección Final de Acabados:** Una vez concluida la construcción, se realizará una inspección minuciosa de todos los acabados visibles. Esto incluye verificar que las superficies de hormigón estén uniformes, sin coqueras ni grietas. Las uniones de tuberías deben presentar un sellado limpio, sin fugas ni rebabas excesivas. Se chequeará la correcta instalación de tapas, rejillas y registros: por ejemplo, las tapas de los tanques Imhoff deben asentar correctamente, ser accesibles pero

seguras (posiblemente cerradas con candado para evitar ingresos no autorizados).

- Elementos de Paisajismo: las pendientes del terreno alrededor de la planta deben quedar suaves y se sembrará vegetación para evitar erosión. Si se construyen senderos o cercas, se revisará que estén bien terminados, alineados y firmes.
- Señalización y Rotulación: Un detalle importante es la colocación de placas o letreros informativos según lo requiera la normativa o el buen uso.
- El control de acabados también evalúa la funcionalidad: puertas y tapas que abren fácilmente, accesibilidad a válvulas o equipos (que nada haya quedado obstruido por un mal diseño de cierre), drenajes despejados (las pendientes de superficie llevan el agua a donde deben, sin estancamientos).
- La limpieza final de la obra es parte de este control: la PTAR debe entregarse limpia, sin restos de obra, con pintura y acabados en perfecto estado, dando una imagen de trabajo bien ejecutado.

3.3.5. Control de Instalaciones y Equipos Específicos

En este proyecto, las instalaciones electromecánicas son limitadas, pero se debe garantizar la correcta instalación y funcionamiento de equipos específicos del sistema de tratamiento, que pueden incluir: bombas, medidores de flujo, válvulas, instrumentación básica (indicadores de nivel), y componentes prefabricados del tratamiento (rejas, tanque Imhoff). Los controles previstos son:

- Control de Llegada de Equipos: Al llegar un equipo o componente especial a obra, se chequeará contra la especificación de compra. Se pedirá al proveedor certificados de fábrica y pruebas.
- Instalación según Manual: Cada equipo debe ser instalado respetando las recomendaciones del fabricante. El Contratista incorporará esas indicaciones en sus procedimientos. La Dirección de Obra inspeccionará que todo accesorio (válvulas, uniones, soportes) esté colocado como en planos.
- En el caso del tanque Imhoff prefabricado, su instalación se considera un "equipo": se controlará la nivelación precisa del tanque, el relleno

lateral uniforme para no deformarlo, la estanqueidad de sus tuberías de entrada/salida. Igualmente, la reja desbastadora prefabricada se instalará asegurando la pendiente y fijaciones según manual de ACO-REMOSA.

- **Pruebas Funcionales:** Una vez instalado un equipo, se realizarán pruebas de funcionamiento en sitio (Site Acceptance Test, SAT). Ejemplo: si hay una bomba, se hará funcionar con agua limpia para verificar caudal, se probarán las válvulas en distintas posiciones para asegurar que abren y cierran sin fugas; los medidores se calibrarán siguiendo las instrucciones. En la reja de desbaste, la prueba funcional consiste en verificar manualmente que la canastilla se retira e inserta con facilidad, que la rejilla retiene sólidos y estos pueden removerse. Para cualquier sistema eléctrico, se hará una prueba de energización asegurando conexiones correctas y protecciones en cumplimiento con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) colombiano.
- **Mantenimiento Preventivo Inicial:** Como parte del control, se verifica que el Contratista entregue los manuales de operación y mantenimiento de cada equipo instalado y que se realice un mantenimiento preventivo inicial. También, se debe entrenar al personal operador en la utilización correcta de los equipos. Si el proyecto contempla periodo de marcha en prueba, durante ese tiempo se observará la performance de los equipos para asegurar que operan de manera continua sin fallos.

En síntesis, el control de instalaciones y equipos garantiza que todos los componentes mecánicos, eléctricos o prefabricados de la PTAR no solo estén bien contruidos, sino que operen correctamente y con seguridad, listos para la fase de servicio real de la planta.

3.4. Control del Agua Tratada

Este apartado se enfoca en asegurar la calidad del efluente depurado por la PTAR, es decir, que el agua tratada cumpla con los parámetros exigidos antes de ser vertida al cuerpo receptor. Dado que la PTAR tiene como objetivo proteger la salud pública y el ambiente, el control de calidad del agua tratada es fundamental y se articula de la siguiente forma:

- **Monitoreo Continuo de Calidad:** Se implementarán sistemas de monitoreo tanto semiautomáticos como manuales para vigilar

constantemente la calidad del agua efluente. Esto puede incluir dispositivos in situ para parámetros básicos (por ejemplo, medidores de pH y conductividad instalados en la salida, o un turbidímetro), así como la toma periódica de muestras para análisis más complejos en laboratorio.

- **Cumplimiento de Estándares Ambientales:** Las aguas tratadas deben cumplir con los estándares de calidad fijados por las autoridades competentes. En Colombia, la normativa vigente en materia de vertimientos es la Resolución 631/2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que establece los parámetros y valores límite máximos permisibles para vertimientos a cuerpos de agua superficiales.
- **Ajuste de Procesos:** Si algún parámetro medido excede los límites normativos, se activará un protocolo de respuesta. Esto implica notificar de inmediato a la Dirección y al operador de la planta, e investigar la causa (por ejemplo, carga orgánica inusual, mal funcionamiento de algún componente). Se tomarán medidas correctivas en el proceso de tratamiento (ajuste de tiempos de retención, limpieza de unidades, cosecha de plantas del humedal si saturadas, etc.) para volver a la conformidad. Solo se considerará que la obra ha terminado exitosamente una vez se demuestre que el efluente cumple consistentemente las normas durante un período de prueba.
- **Registros y Reportes:** Todos los datos de calidad del agua se registrarán. Se llevará un registro de monitoreo donde se anotan las mediciones in situ y resultados de laboratorio. Estos registros podrán ser auditados por la autoridad ambiental.

En definitiva, el control del agua tratada garantiza que la PTAR realmente cumpla su cometido ambiental. No basta con construir la infraestructura; su “producto” debe ser agua dentro de norma. Este control asegura la conformidad ambiental del proyecto, de acuerdo con la reglamentación colombiana y bajo la supervisión de la autoridad ambiental competente.

3.5. Control de Seguridad y Salud

La calidad en un proyecto de construcción no se limita al producto final, sino también al proceso, lo que incluye la seguridad con la que se ejecuta. Un

proyecto realizado sin accidentes y protegiendo la salud de los trabajadores refleja un control adecuado y es parte integral de la calidad. Por ello, se incorporan medidas de Seguridad y Salud en el Trabajo.

- Implementación de Planes de Seguridad: Desarrollo e implementación de planes de seguridad específicos: uso de equipos de protección personal, señalización adecuada, control de riesgos, etc., incluyendo protección contra riesgos químicos, biológicos y físicos.
- Formación y Capacitación: Formación continua del personal en prácticas seguras de trabajo, procedimientos de emergencia y uso adecuado de equipos de protección personal (EPP) para proteger la salud de los trabajadores.

La descripción completa de lo correspondiente a la Seguridad y Salud en el Trabajo se detalla en el Anejo N°15 Seguridad y Salud.

3.6. Control Ambiental

Algunos aspectos a controlar en este sentido son:

- Cumplimiento Normativo Ambiental: Adopción de medidas para cumplir con las normativas ambientales locales e internacionales durante la construcción y operación de la PTAR.
- Gestión de Residuos: Implementación de sistemas adecuados para la gestión y disposición de residuos generados durante la construcción y operación de la planta.
- Prevención de la Contaminación: Adopción de prácticas para minimizar el impacto ambiental, incluyendo el control de emisiones, vertidos y uso sostenible y protección de recursos naturales.

De esta forma, el control ambiental garantiza que la construcción de la PTAR no genere impactos negativos significativos y que se cumplan las obligaciones legales, contribuyendo a la sostenibilidad global del proyecto.

La descripción completa del Control Ambiental se detalla en los anejos N°9 Estudio de Impacto Ambiental y N°10 Gestión de Residuos.

3.7. Control de Documentación y Gestión de Calidad

Por último, dentro de los controles generales se incluye el control de la propia documentación de calidad y de la gestión administrativa del proceso de calidad:

Se controlará que el Plan de Calidad (este documento) y los procedimientos derivados de él estén siempre disponibles en obra para consulta, que el personal clave los conozca, y que se estén aplicando efectivamente. La Dirección de Obra puede auditar periódicamente el cumplimiento del PCC, revisando registros y observando prácticas en terreno para asegurar que la gestión de calidad no quedó solo en el papel y que, en efecto, se cumple en obra.

Registros de Calidad: Se llevará un riguroso control de todos los registros que evidencian la calidad. Esto incluye:

- Resultados de ensayos (con sus formatos debidamente diligenciados y firmados)
- Actas de inspección de la Dirección de Obra
- Informes de no conformidad
- Reportes de acciones correctivas
- Bitácora diaria de obra con anotaciones de calidad,
- Entre otros.

La Dirección de Obra recopilará copias de todos estos documentos, y el Contratista deberá archivarlos organizadamente. Hacia el final, se verificará que no falte ningún registro importante. De faltar, se gestionará su obtención.

Por su parte, la gestión de calidad implica comunicaciones fluidas. Se controlará que se estén llevando a cabo las reuniones de coordinación de calidad según lo previsto. De igual forma, la comunicación con las autoridades se documentará: por ejemplo, cualquier visita de un funcionario de la CAR o del municipio quedará registrada en minutas junto con las observaciones que hayan hecho.

Se deben realizar:

- Auditorías Internas: Si el Contratista cuenta con un sistema de calidad certificado (ISO 9001) o al menos con personal de calidad, podría realizar auditorías internas durante el proyecto. Aunque no es obligatorio, sería una buena práctica.
- Auditorías Externas: Programación de auditorías externas realizadas por entidades independientes para evaluar el cumplimiento de normativas y estándares de calidad.
- Gestión de Cambios: Cualquier cambio significativo durante la obra que afecte calidad debe gestionarse documentalmente. El control de gestión revisará que todo cambio esté respaldado por su respectiva autorización escrita.

Se preparará, por último, un archivo o biblioteca final con todos los documentos de calidad, que será entregada al Promotor. Esto garantiza que, a futuro, si hay cualquier reclamación o si se requiere información para operar o mantener la planta, esté disponible. Según normativa RAS, los manuales, planos finales (as-built) y registros de calidad deben conservarse dado que son parte del proyecto.

Este control de documentación asegura la trazabilidad completa de la calidad en el proyecto, desde la planificación hasta la finalización, y forma el cierre administrativo-técnico del proceso de control de calidad.

4. Programa de Puntos de Inspección

El Programa de Puntos de Inspección (PPI) es una herramienta clave del PCC que identifica las etapas o hitos durante la construcción en los cuales se realizará una inspección formal y no se podrá continuar al siguiente paso sin la aprobación explícita de la Dirección. Es, por tanto, un acuerdo entre Contratista y Dirección de Obra para garantizar el control de calidad en puntos críticos.

Se deben definir y establecer los Puntos de Inspección para cada fase de la construcción. Además, se debe determinar una frecuencia de las inspecciones (diaria, semanal, mensual) según el tipo de actividad.

Los criterios de aceptación o rechazo de los elementos inspeccionados deben ser establecidos de manera clara y evitar que sea a libre interpretación.

El proceso para la inspección de los puntos debería tener una estructura similar a la siguiente:

- Preparación de la Inspección: Revisión previa de planos, especificaciones y requisitos antes de la inspección.
- Ejecución de la Inspección: Realización de la inspección en el sitio, comparando los resultados con los criterios establecidos.
- Registro de Resultados: Documentación de los resultados en el formato de inspección correspondiente.
- Acciones Correctivas: Definición y seguimiento de acciones correctivas para cualquier no conformidad detectada.
- Acta de Inspección: Tras la conclusión de cada operación o actividad, se levanta un acta por parte del responsable de la obra.

A continuación se proponen los puntos de inspección más importantes para este proyecto:

- Replanteo y Nivelación Inicial
- Excavaciones Terminadas: Inspección de cada excavación una vez llevada a la profundidad y dimensiones requeridas.
- Base de Humedal y Tanques
- Armado de Acero para las estructuras de hormigón
- Hormigonado
- Desencofrado e inspección de elementos de hormigón
- Instalación de Geomembrana
- Montaje de Tanques Prefabricados
- Tendido de tuberías: Inspección de pendientes, juntas y soporte de tuberías de interconexión entre unidades.
- Pruebas de estanqueidad de tuberías
- Relleno de Zanjas
- Instalaciones Eléctricas
- Montaje de Equipos

- Pruebas de Funcionamiento
- Terminación de Acabados: Inspección final de toda la obra
- Documentación Final

El Programa de Puntos de Inspección es, por tanto, un cronograma paralelo al de obra pero enfocado en calidad, que garantiza la verificación oportuna de los aspectos críticos sin omitir ninguno. De esta manera se evita que errores queden ocultos o sin corregir, y se asegura una secuencia ordenada de aprobación de calidad a lo largo del proyecto. Por último, se menciona que la Dirección de Obra podrá añadir o eliminar puntos según considere conveniente para la ejecución de la obra.

5. Protocolo de Pruebas en Obra

Se deben realizar una serie de pruebas en obra (complementarias a los ensayos específicos de calidad ya mencionados) para asegurar que la planta en su conjunto operará correctamente. Este protocolo de pruebas define cómo se llevarán a cabo dichas pruebas, su secuencia, responsables y criterios de aceptación.

2.6.2 IDENTIFICACIÓN DE PRUEBAS REQUERIDAS

Las principales pruebas a realizar en este proyecto son:

- Pruebas de Materiales: aunque ya mencionadas anteriormente, se propone:
 - Hormigón
 - Resistencia a compresión
 - Asentamiento (Cono de Abrams)
 - Acero
 - Resistencia a tracción
 - Doblado
- Pruebas de Estanqueidad: Llenado de elementos para verificar que no haya infiltraciones ni fugas.

- Tanque Imhoff: se llena con agua limpia hasta su nivel de operación y se mide que el nivel no decaiga más allá de lo esperable por evaporación en 24 horas.
- Humedal: se sella la salida y se inunda el lecho granular hasta un cierto nivel, midiendo igualmente variación de nivel en 24 horas para verificar pérdidas mínimas.
- Tuberías enterradas y cámaras: como ya mencionado, pruebas de estanqueidad segmentadas.
- Pruebas de Equipos Electromecánicos: incluye la prueba en vacío y con carga de cada equipo.
- Prueba de Sistema Hidráulico: Circulación de agua a través de todo el sistema para simular operación:
- Pruebas de Seguridad: Simular fallas o emergencias para verificar respuestas:
- Pruebas de Calidad de Efluente

Responsabilidades y Recursos:

- El Contratista provee personal para operar y monitorear la planta durante las pruebas.
- La Dirección supervisa y también puede tomar mediciones paralelas o muestras de verificación.
- Técnico de Laboratorio: realizar las pruebas y registrar los resultados
- Responsable de Calidad: supervisar y documentar las pruebas

Se tendrán insumos listos: kits de prueba de cloro, pH, etc., combustible para generador si no hay red eléctrica activa aún, equipos de bombeo auxiliar por si se necesita drenar algo rápidamente.

Revisión y Aprobación:

La Dirección revisará los resultados de cada prueba contra los criterios acordados y dará su visto bueno en los reportes de prueba. En caso de resultados ambiguos, puede decidir repetir la prueba para estar seguros.

El Promotor podría participar en una prueba final de demostración, especialmente de la calidad del efluente.

Solo tras la aprobación de todas las pruebas, se considerará que la planta está lista para recepción y operación.

6. Dossier Final de Control de Calidad

Al culminar el proyecto, se integrará toda la documentación generada en un Dossier Final de Control de Calidad, que constituye la evidencia tangible del cumplimiento del PCC y que servirá como referencia durante la vida útil de la PTAR. Este dossier típicamente incluirá:

- Portada y Datos Generales: título, proyecto, ubicación, fecha, contratista, etc.
- Índice
- Introducción
- Descripción del Proyecto
- Plan de Control de Calidad
 - Pruebas y ensayos realizados
 - Resultados de inspección
 - No conformidades y Acciones Correctivas
 - Certificados y otros
 - Conclusiones
 - Anexos
 - Planos As-built
 - Fotografías de evidencia
 - Actas de trabajo, reuniones e inspecciones
 - Correspondencia y comunicaciones

Este Dossier deberá estar firmado por la Dirección de Obra

7. Referencias

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2002). *Manual de Seguimiento Ambiental de Proyectos*. Bogotá.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (s.f.). *Normas técnicas colombianas y guías*. Obtenido de <https://www.mincit.gov.co/minturismo/calidad-y-desarrollo-sostenible/calidad-turistica/normas-tecnicas-colombianas-y-guias>

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000*. Bogotá.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Colombia. (2021). *Plan de Gestión de Residuos para Obras Civiles*. Bogotá.

ANEJO N°12: EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Capacitación	4
3. Funciones del operario responsable	5
4. Pretratamiento.....	6
4.1. Explotación y Mantenimiento	6
5. Tanque Imhoff	7
5.1. Explotación y mantenimiento	8
6. Humedal Artificial	10
6.1. Explotación y Mantenimiento	11
7. Eras de Secado.....	14
7.1. Explotación y Mantenimiento	14
8. Consideraciones Adicionales.....	14
9. Referencias.....	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Anomalías típicas en Tanques Imhoff. Fuente: CEDEX.....	10
Figura 2: Anomalías típicas en Humedales Artificiales. Fuente: CEDEX.....	13

1. Objeto

El objetivo de este anejo es definir las formas en las que se debe operar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para garantizar su correcto funcionamiento a lo largo de su vida útil.

Para ello, se definirán las actividades que se deben realizar en cada una de las partes componentes de la misma y su frecuencia.

Se utilizará, a modo de apoyo, las condiciones establecidas en RAS 2000 (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico) en su Sección II, Título E del ministerio competente.

El operador de la planta debe llevar un diario de la operación, en el cual deben anotarse por separado los trabajos rutinarios efectuados, las medidas de mantenimiento, los resultados obtenidos del tratamiento, y los sucesos específicos.

Por su parte, el objetivo del mantenimiento es garantizar la operación y la seguridad. Deben eliminarse de inmediato las obstrucciones, la formación de nudos, sedimentaciones, fugas, y repararse los daños en las construcciones o la maquinaria. La operación y el mantenimiento deben efectuarse de modo tal, que no presenten ningún peligro o molestias para los seres humanos, ni el ambiente.

2. Capacitación

La capacitación del operario responsable de la explotación y mantenimiento de la planta debe constar de:

- Visión general de los parámetros que se analizarán.
- Capacitación para la toma de muestras específicas según parámetro.
- Ensayo en la matriz correspondiente, siguiendo las instrucciones de manejo para cada parámetro del procedimiento (ejecución y manejo propio).
- Indicación de los peligros que encierra el uso de productos químicos, haciendo referencia al empleo del equipo de protección personal (por ejemplo anteojos y guantes de protección) y a los primeros auxilios.
- Evacuación de los desechos y las aguas residuales.

3. Funciones del operario responsable

- Operación y mantenimiento de equipos
 - Conservar la planta perfectamente aseada y ordenada.
 - Establecer un plan sistemático (tanto interior como exterior) para la ejecución de las operaciones cotidianas.
 - Establecer un programa rutinario de inspección y lubricación.
 - Llevar los datos y registros de cada pieza de equipo, enfatizando en lo relativo a incidentes poco usuales y condiciones operatorias deficientes.
 - Observar las medidas de seguridad.
 - El funcionamiento adecuado de los aparatos de medición, tales como medidores de caudal, de pH, oxígeno, etc., depende de un mantenimiento cuidadoso. En los canales, recipientes y líneas de medición deben eliminarse depósitos y costras.
- Operación y mantenimiento de bombas: es esencial un completo conocimiento de la construcción y operación de la bomba. Deben llevarse a cabo inspecciones diarias en que se preste especial atención a lo siguiente:
 - Cojinetes: calentamiento y ruidos
 - Motores: velocidad de operación
 - Equipo de control: limpieza y condiciones
 - Operación de bombeo: vibraciones y ruidos
- Operación y mantenimiento de rejillas: el funcionamiento del sistema de rejillas, junto con el de la prensa de sus desechos, en caso de que haya una, debe controlarse al comenzar y al terminar la jornada de trabajo. En el caso de rejillas mecánicas los controles deben limpiarse y mantenerse funcionando de manera adecuada.
- Operación y mantenimiento de la planta y la red: las tuberías o acumulaciones de cualquier naturaleza. Donde haya dos unidades o sea posible suspender el trabajo de una unidad sin interferir de

manera excesiva con el tratamiento, debe llevarse a cabo una limpieza completa de las unidades regularmente.

- De ser posible, se intentará realizar análisis de laboratorio cada cierto tiempo determinado de lo siguiente:
 - Proporción del volumen de sólidos sedimentables a la entrada y la salida del tratamiento previo (o tratamiento intermedio) y a la salida de la planta de tratamiento
 - Turbiedad a la salida de la planta de tratamiento
 - Determinación de la DBO5 y DQO a la entrada y a la salida del tratamiento previo y a la salida de la planta de tratamiento

Se debe velar por el respeto del resto de los vecinos de la comunidad hacia las labores que debe cumplir el operario voluntario responsable. Es decir, se debe intentar separar bien los roles que los voluntarios cumplan en relación a la operación y mantenimiento de la planta y evitar la intrusión de personas ajenas a la explotación a realizar trabajos en sustitución de la persona que haya recibido la formación. Como ventaja, se menciona la increíble capacidad de organización de los vecinos de la comunidad, quienes, durante la visita a Santa Isabel de quien redacta el proyecto, mostraron una espectacular forma de distribución de tareas y responsabilidades a lo largo y ancho de la comunidad, con roles claros y elegidos de forma democrática por ellos mismos.

4. Pretratamiento

La puesta en marcha de los elementos constitutivos de la etapa de pretratamiento no presenta gran complejidad, comenzando a funcionar en el momento que el agua empieza a pasar a través de los mismos.

4.1. Explotación y Mantenimiento

Actividades a realizar son las siguientes:

- Inspección Rutinaria: Debido a que la presente planta presenta baja complejidad (ya que cumple su función para un número muy reducido de habitantes) se establece una frecuencia de inspección de una vez a la semana.

Para el equipo de desbaste:

- La limpieza de las rejillas manuales se efectuará por rastrillado, depositándose los residuos que se extraigan en los cestillos perforados dispuestos al efecto, con objeto de conseguir su escurrido antes de su recogida en un contenedor, para su posterior envío a vertedero.
- La periodicidad de la limpieza de las rejillas de desbaste será la misma que la de las visitas a la estación de tratamiento, para evitar la aparición de olores desagradables.
- Especial atención se debe prestar a la limpieza de las rejillas manuales de desbaste en períodos de lluvias, incrementando la frecuencia de limpieza, dado que en esos momentos es mucho mayor el volumen y la heterogeneidad de los sólidos que se retienen en las mismas.
- Cuando se detecten sedimentaciones en el fondo de los canales en los que se ubican las rejillas de desbaste, se procederá a su extracción manual para su envío a vertedero utilizando palas.

El correcto mantenimiento de la estación depuradora y de su entorno contribuye notablemente a minimizar el impacto que produce este tipo de instalaciones. En el caso del pretratamiento estas labores se centran, principalmente, en el mantenimiento de la obra civil y de las conducciones asociadas.

Se propone, por último, una tabla de los problemas operativos típicos y sus soluciones, propuesto por la bibliografía del CEDEX:

5. Tanque Imhoff

Para la puesta en marcha del tanque para el tratamiento primario se debe tener en cuenta lo siguiente:

Es esencial, en primer lugar, comprobar la estanqueidad del Tanque Imhoff para evitar episodios de contaminación de aguas subterráneas. Tras esta comprobación, la puesta en marcha del sistema se debe iniciar con la comprobación del correcto funcionamiento de los siguientes elementos:

- Pretratamiento: rejilla de desbaste y desarenado.

Tras estas comprobaciones iniciales, la puesta en marcha de los Tanques Imhoff no requiere atenciones especiales, bastando con proceder a su llenado con las aguas residuales a tratar. Los procesos de decantación de la

materia sedimentable y de flotación de flotantes se producirán de forma inmediata, mientras que para el inicio de la degradación de la materia orgánica sedimentada será preciso un periodo de tiempo, variable (1-2 semanas), en función de las temperaturas en la zona al momento de poner en marcha.

También en este periodo deben realizarse las pruebas de funcionamiento de la PTAR cuyo objetivo será determinar si la planta cumple con los rendimientos previstos en el proyecto de construcción.

Estas pruebas tendrán una duración entre uno y tres meses en función de la importancia de la planta, y en ellas se verificarán los rendimientos obtenidos respecto a la reducción de materia en suspensión, DBO5 y DQO, y se corregirán los posibles problemas funcionales que se detecten.

5.1. Explotación y mantenimiento

Se recomienda, primero, realizar una inspección rutinaria al menos una vez por semana.

Tal y como se describió anteriormente, se deberá realizar un registro con lo siguiente:

- Fecha y hora de la visita a la estación depuradora.
- Aspecto de las aguas residuales influentes y de los efluentes.
- Acumulaciones excesivas de flotantes en la zona de decantación.
- Anomalías en la obra civil.
- Fechas de realización de las diferentes tareas de mantenimiento: limpieza de reja, evacuación de los rechazos del desbaste, extracción de arenas, extracción de lodos, eliminación de malas hierbas en taludes y viales, etc.

Adicionalmente, una vez al año se deberán realizar las siguientes actividades:

- Una vez al año se procederá a la inspección del interior del tanque, prestando especial atención a la estanqueidad, comprobando que no se producen fugas ni intrusión de aguas parásitas, y revisando las zonas de entrada y salida de las aguas.

- Dos veces al año se procederá a la medida de los espesores de las capas de flotantes y de lodos que se van acumulando en la zona de digestión.
 - Para la medición de la capa de flotantes se puede hacer uso de una varilla graduada, en forma de L. La varilla se empuja a través de la capa de flotantes, hasta atravesarla, midiéndose en ese momento en la parte graduada de la varilla el espesor de la capa.
 - Para la determinación del espesor de la capa de lodos puede recurrirse a introducir en el tanque, hasta tocar su fondo, una vara envuelta en un paño blanco. Al extraer la vara la zona oscurecida del paño indicará el espesor de la zona de lodos. También, puede recurrirse al método de la extinción de la luz, para lo que se introduce en la fosa una fuente luminosa. La luz se extinguirá al llegar a la capa de lodo.
- Dos veces al año se procederá a la limpieza del tanque, extrayendo los lodos y flotantes acumulados. Estos se enviarán a las Eras de Secado construidas al efecto. Los lixiviados de las eras deben conducirse de nuevo al tratamiento.

En cuanto a labores de mantenimiento de dicho tanque se menciona:

- El control del buen estado del cerramiento.
- El cuidado de la ornamentación vegetal implantada.
- El control de roedores, insectos, etc
- Registro de las averías sufridas.
- Todas aquellas operaciones que sobre su funcionamiento se consideren pertinentes a juicio del operario

Análogamente al apartado anterior se cita una tabla presente en la bibliografía con los principales problemas que pueden presentar los Tanques Imhoff y sus soluciones:

Anomalia	Causa	Solución
Deficiente calidad de los efluentes finales por elevadas concentraciones de materia en suspensión	Sobrecarga hidráulica	Limitar los caudales influentes de aguas residuales
	Excesiva acumulación de fangos y/o flotantes en el interior del tanque	Proceder a la extracción de fangos y/o flotantes
	Vertidos industriales a la red de alcantarillado	Implantación y cumplimiento riguroso de una Ordenanza de Vertido a Colectores Municipales
Generación acentuada de malos olores	Deficiente ventilación del tanque	Mejora de los dispositivos de venteo de gases Colocación de cartuchos de material adsorbente en las chimeneas de venteo
	Vertidos industriales a la red de alcantarillado	Implantación y cumplimiento riguroso de una Ordenanza de Vertido a Colectores Municipales

Figura 1: Anomalías típicas en Tanques Imhoff. Fuente: CEDEX

6. Humedal Artificial

Primero, las consideraciones para su correcta puesta en marcha:

- En primer lugar se debe comprobar la estanqueidad del recinto que contiene el lecho filtrante, para evitar episodios de contaminación de las aguas subterráneas.

Desde el inicio de la puesta en operación de los Humedales Artificiales comienza el proceso depurativo, inicialmente basado en la retención de sólidos mediante el proceso de filtración de las aguas residuales a través del lecho de arenas-gravas. A medida que transcurre el tiempo, alrededor de las partículas del soporte se desarrollará la biopelícula, que se encargará de la transformación y degradación de la mayoría de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Asimismo, esta biopelícula se desarrollará sobre los rizomas y raíces de las plantas emergentes, que irán captando los nutrientes que precisan para su desarrollo.

La etapa de arranque y estabilización del sistema, en la que se va desarrollando toda la zona radicular de las plantas y la biomasa bacteriana coloniza el sustrato y los rizomas y raíces, se extiende aproximadamente a lo largo de un ciclo vegetativo.

Inicialmente, el nivel de agua se mantendrá unos 5 cm por debajo de la superficie del sustrato filtrante, y se irá bajando paulatinamente para favorecer un más rápido desarrollo de la zona radicular de las plantas durante el primer ciclo de su crecimiento. Al final de este proceso, el nivel del agua en el sustrato recuperará su valor inicial.

Para favorecer el rápido crecimiento de la vegetación instaurada en los humedales artificiales, durante los periodos de puesta en operación, se procederá a la eliminación de toda la vegetación espontánea que pueda aparecer en los mismos, evitando competencias con las especies implantadas. También, en este periodo deben realizarse las pruebas de funcionamiento de la PTAR, con el objetivo de determinar si la planta cumple con los rendimientos previstos en el proyecto de construcción. Estas pruebas tendrán una duración de entre uno y tres meses, y en ellas se verificarán los rendimientos obtenidos respecto a la reducción de DBO₅, DQO, MES y, NT y PT en su caso, los ratios energéticos de consumo, así como los problemas funcionales que se produzcan.

6.1. Explotación y Mantenimiento

De igual manera que en los casos anteriores, se realizara la inspección del funcionamiento del humedal al menos una vez por semana.

Se debe registrar lo observado, en especial:

- Aspecto de las aguas residuales influentes y efluentes
- Cualquier anomalía en la obra civil

Para la explotación correcta del humedal, se debe considerar:

- La revisión de los sistemas de alimentación/distribución y del estado de la impermeabilización del confinamiento.
- Durante los primeros meses de operación deben eliminarse las malas hierbas que puedan competir con la vegetación implantada en el humedal.
- Anualmente, una vez finalizado el ciclo vegetativo de las plantas se procederá a su siega y a la evacuación de la biomasa vegetal extraída. Con ello se evita que se descomponga la vegetación seca en el interior del humedal, liberando nutrientes y contribuyendo a la colmatación

del sustrato filtrante. La siega se podrá llevar a cabo manualmente, mediante el empleo de hoces o guadañas.

- Cuando se realice la siega de la vegetación, se procederá a medir la permeabilidad del sustrato filtrante, al objeto de determinar su grado de colmatación.
- Debe prevenirse y controlarse la aparición de posibles plagas, que puedan hacer peligrar la existencia de las plantas.
- Debe evitarse la entrada a la depuradora de animales que puedan alimentarse de las plantas del humedal.

Los residuos generados en la siega periódica de la vegetación de los humedales pueden emplearse en alimentación animal, en procesos de compostaje de residuos, etc. En caso contrario, se enterrarán o se enviarán a vertedero.

Las consideraciones que se deben tener tomar para el correcto mantenimiento del humedal son:

- El mantenimiento de los equipos electromecánicos, de la obra civil y de las conducciones.
- El control del buen estado del cerramiento.
- El cuidado de la ornamentación vegetal implantada.
- El control de roedores, insectos, etc.
- Registro de las averías sufridas.
- Todas aquellas operaciones que sobre su funcionamiento se consideren pertinentes a juicio del operario

Por último, se expone la tabla que muestra los problemas más comunes y sus posibles soluciones.

Anomalia	Causa	Solución
Deficiente calidad de los efluentes finales	Sobrecarga orgánicas Vertidos industriales a la red de alcantarillado	Ajustar la carga a la estipulada en proyecto Implantación y cumplimiento riguroso de una Ordenanza de Vertido a Colectores Municipales
Rápida colmatación de la superficie filtrante	Presencia excesiva de finos en el material filtrante Deficiente funcionamiento de las etapas de pretratamiento y/o tratamiento primario Mal funcionamiento del sistema de reparto del agua Presencia de elevadas concentraciones de sólidos en suspensión y/o aceites y grasas en las aguas a tratar.	Selección rigurosa del material filtrante Correcta explotación y mantenimiento de estas etapas Control del reparto homogéneo de la alimentación sobre toda la superficie filtrante Implantación y cumplimiento riguroso de una Ordenanza de Vertido a Colectores Municipales

Figura 2: Anomalías típicas en Humedales Artificiales. Fuente: CEDEX

Ante situaciones de colmatación del sustrato filtrante, en el caso de los Humedales de Flujo Horizontal se aconseja bajar la tubería de salida, operando durante un tiempo de forma que las aguas sólo circulen por la solera del humedal. Esto permite el secado de la mayor parte del material filtrante, recuperando parte de la porosidad perdida. Tras este período de recuperación, que puede durar 2-3 semanas, se vuelve a colocar la tubería de salida a su nivel habitual, con lo que volverá a inundarse el humedal.

En todos los casos y para cada etapa del tratamiento, se aconseja realizar, en la medida de lo posible y si los recursos disponibles en el momento lo permitan, los siguientes ensayos (algunos de laboratorio):

- Caudales diarios (m^3/d)
- Concentraciones de DBO₅, DQO y SS (mg/l)
- Carga orgánica con la que operan los humedales ($\text{g DBO}_5/\text{m}^2/\text{d}$): calculada en función del caudal tratado de agua residual, de su concentración, del rendimiento alcanzado en las etapas previas y de la superficie filtrante de los humedales.

7. Eras de Secado

7.1. Explotación y Mantenimiento

Las labores de operación y mantenimiento de Eras de Secado para la deshidratación son simples.

- Las Eras de Secado se alimentarán de forma que la capa de lodos a secar presente espesores de 25-30 cm. Espesores mayores dificultan el secado de las zonas más profundas de la capa de lodos.
- Una vez se tengan los lodos secos, la extracción de estos se lleva a cabo de forma manual, vertiendo el lodo seco, con la ayuda de palas, en carretillas que los conducen fuera de los lechos, para ser almacenados o utilizado con fines agrícolas.

Debido a que se realizará la extracción cada 6 meses, se tiene cierto margen de tiempo para el correcto secado de los lodos. Por esto, estos podrán permanecer en las eras de secado hasta 30 días.

Se debe considerar que, con cada retirada de lodos secos también se elimina algo de arena de la capa drenante, al quedar adherida a los lodos, lo que obliga, cada cierto tiempo, a reponer parte de la arena para recuperar su espesor inicial.

8. Consideraciones Adicionales

Se debe contar con los siguientes elementos de seguridad y salud (ver Anejo correspondiente) al realizar los trabajos de explotación y mantenimiento:

- Guantes
- Botas de trabajo (de goma impermeables)
- Mameluco o prendas de ropa de trabajo
- Horqueta
- Caja de herramientas
- Azada
- Palas
- Rastrillo

- Paños
- Desinfectantes, como, por ejemplo, lejía. Este punto es de gran importancia ya higienizar todos los elementos de trabajo una vez realizado las labores, pues los contaminantes presentes en la planta pueden afectar la salud del operario.
- Jabones para lavado de manos y partes del cuerpo que pudieran llegar a estar en contacto con el operario.

Se implantará, adicionalmente, en la entrada de la planta, una caseta con todos los utensilios de trabajo, aseo y seguridad mencionados anteriormente. Se cerrará con candado para evitar intrusiones no deseadas.

Esta caseta estará provista, además, de cubos para basura y repuestos de elementos puntuales que pudieran averiarse (por ejemplo, piezas de conexión de tuberías de PVC) durante la vida útil de la planta.

9. Referencias

CEDEX, M. d. (2021). *Manual para la Implantación de Sistemas de Depuración en Pequeñas Poblaciones*. Madrid.

Corponariño. (2021). *Determinantes Ambientales para el Ordenamiento Territorial*. Pasto.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia. (2021). *Guía Técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales*. La Paz.

ANEJO N°13: JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Costes	4
2.1. Costes Indirectos.....	4
2.2. Costes Directos.....	5
3. Resumen del presupuesto.....	6
3.1. Capítulo 1: Preparación de la obra.....	6
3.2. Capítulo 2: Movimientos de tierra	6
3.3. Capítulo 3: Red de saneamiento.....	6
3.4. Capítulo 4: Estación depuradora	6
3.5. Presupuesto Base de Licitación	7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Resumen Capítulo 1. Fuente: Elaboración propia	6
Figura 2: Resumen Capítulo 2. Fuente: Elaboración propia	6
Figura 3: Resumen Capítulo 3. Fuente: Elaboración propia	6
Figura 4: Resumen Capítulo 4. Fuente: Elaboración propia	7
Figura 5: Presupuesto Base de Licitación. Fuente: Elaboración propia.....	7

1. Objeto

El objeto del presente anejo es el de justificar y desarrollar la metodología que se ha utilizado para el desarrollo del Documento N°4: Presupuesto.

Por este motivo, este anejo es informativo y carece de carácter contractual.

Se analizarán y determinarán las unidades de obra requeridas para la ejecución de la obra, así como su valoración económica.

2. Costes

Se diferencian en costes directos e indirectos.

Los costes directos que se considerarán corresponden a las unidades de obra establecidas en el apartado 2.2.

Los costes indirectos, por su parte, son aquellos que no se pueden atribuir a una unidad de obra en particular, sino a la obra en su conjunto. Estos son, entre otros:

- Instalaciones varias
- Almacenes de Acopio
- Oficinas
- Personal técnico
- Imprevistos que no estén contemplados

De esta manera, para las distintas unidades de obra, se realizará el siguiente cálculo:

$$P = \left(1 + \frac{K}{100}\right) \cdot C$$

Siendo:

- P: precio de ejecución material
- K: costes indirectos
- C: coste directo

2.1. Costes Indirectos

Los costes indirectos se definen a su vez de la siguiente manera:

$$K = K_1 + K_2$$

Donde K_1 representa la valoración entre los costes indirectos y la de los costes directos. Se suele adoptar un valor de 5%.

El K_2 , por su parte, considera los imprevistos y se establece en 1% para obras terrestres.

Así, el K a adoptar es del 6%.

2.2. Costes Directos

Los costes directos se obtienen a partir de la Lista de Precios de Construcción, Urbanismo y Vías (2025) de la Gobernación de Cundinamarca la cual, a través de la resolución 070/2025, establece precios de referencia actualizados para las distintas unidades de obra de proyecto. Estas incluyen la mano de obra, maquinaria y materiales necesarios y se utilizarán para la elaboración del Cuadro de Precios.

Los trabajos a considerar en este apartado son las siguientes:

- Instalación del vallado perimetral
- Desbroce, limpieza del área de trabajo y replanteo
- Movimientos de tierra (excavación de zanjas, rellenos, compactaciones, etc.)
- Instalación de tuberías de la red de saneamiento
- Ejecución de pozos de inspección
- Instalación del pretratamiento prefabricado
- Instalación de los tanques Imhoff prefabricados
- Ejecución del Humedal Artificial
- Ejecución de las eras de secado en hormigón
- Instalación de una red telefónica provisional

Se dividen las partidas del presupuesto en 4 capítulos:

- Capítulo 1: Preparación de la obra
- Capítulo 2: Movimientos de tierra
- Capítulo 3: Red de saneamiento
- Capítulo 4: Estación depuradora

Las mediciones y forma de abono de cada una se definen en el documento N°3: Pliego.

3. Resumen del presupuesto

3.1. Capítulo 1: Preparación de la obra

CAPÍTULO 01: PREPARACIÓN DE LA OBRA	COP \$	EUR €
VALLADO PERIMETRAL	4.642.350,00	986,06
DESBROCE	12.747.500,00	2.707,63
INSTALACIÓN RED TELEFÓNICA PROVISIONAL	355.446,00	75,50
RETIRO DE SOBRESANTES	3.035.750,00	644,81
COSTES INDIRECTOS (6%)	1.246.862,76	264,84
TOTAL	22.027.908,76	4.678,83

Figura 1: Resumen Capítulo 1. Fuente: Elaboración propia

3.2. Capítulo 2: Movimientos de tierra

CAPÍTULO 02: MOVIMIENTOS DE TIERRA	COP \$	EUR €
EXCAVACIONES. HUMEDAL ARTIFICIAL	2.648.398,17	562,53
EXCAVACIONES. ZANJAS	40.150.521,54	8.528,15
RELLENOS. ZANJAS	56.299.433,39	11.958,25
RELLENOS. HUMEDAL ARTIFICIAL	28.309.651,20	6.013,09
RELLENOS. ERAS DE SECADO	15.468.607,35	3.285,60
COSTES INDIRECTOS (6%)	8.572.596,70	1.820,86
TOTAL	151.449.208,35	32.168,48

Figura 2: Resumen Capítulo 2. Fuente: Elaboración propia

3.3. Capítulo 3: Red de saneamiento

CAPÍTULO 03: RED DE SANEAMIENTO	COP \$	EUR €
INSTALACIÓN TUBERÍAS	65.897.538,00	13.996,93
POZOS DE REGISTRO	7.969.392,00	1.692,73
COSTES INDIRECTOS (6%)	4.432.015,80	941,38
TOTAL	78.298.945,80	16.631,04

Figura 3: Resumen Capítulo 3. Fuente: Elaboración propia

3.4. Capítulo 4: Estación depuradora

CAPÍTULO 04: ESTACIÓN DEPURADORA	COP \$	EUR €
INSTALACIÓN PRETRATAMIENTO	18.864.410,04	4.046,42
INSTALACIÓN TANQUES IMHOFF	74.294.098,20	15.780,39

INSTALACIÓN GEOMEMBRANA HUMEDAL ARTIFICIAL	6.096.384,00	1.294,90
INSTALACIÓN CONDUCCIONES HUMEDAL ARTIFICIAL	967.185,00	205,43
EJECUCIÓN ERAS DE SECADO	13.949.533,16	2.962,94
COSTES INDIRECTOS (6%)	6.850.296,62	1.457,41
TOTAL	121.021.907,03	25.747,50

Figura 4: Resumen Capítulo 4. Fuente: Elaboración propia

3.5. Presupuesto Base de Licitación

La suma de los capítulos anteriores da por resultado el Presupuesto de Ejecución Material. A este se le añade un 13% de gastos generales y un 6% de beneficio industrial.

Se considera, por último, el IVA aplicable a obras civiles en Colombia, el cual es del 19%.

	<u>COP\$</u>	<u>EUR €</u>
PEM	372.797.969,94	79.225,84
13% GASTOS GENERALES	48.463.736,09	10.299,36
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	22.367.878,20	4.753,55
TOTAL SIN IVA	443.629.584,22	94.278,75
TOTAL	527.919.205,23	112.191,72

Figura 5: Presupuesto Base de Licitación. Fuente: Elaboración propia

ANEJO N°14: PLAN DE OBRA

ÍNDICE

1. Objeto	4
2. Actuaciones	4
3. Diagrama de Gantt	5
4. Referencias.....	5

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Gantt - Plan de Obra. Fuente: Elaboración propia.....5

1. Objeto

El presente anejo tiene como fin determinar el calendario y plazo de ejecución estimados para de las operaciones y actividades que se contemplan en este proyecto.

2. Actuaciones

Se recogen las distintas actuaciones a realizar para la ejecución de la obra civil:

- Trabajos Previos
 - Replanteos y trabajos topográficos
 - Preparación de Equipos y Maquinaria
 - Instalación de Servicios para el desarrollo de la obra
 - Acopio de Material
- Movimiento de Tierras
 - Desbroce
 - Explanación: desmonte y terraplenes
 - Excavación de Zanjas
 - Rellenos y compactaciones
- Red de Saneamiento
 - Instalación de tuberías
- Pretratamiento
 - Instalación del pretratamiento prefabricado
- Tratamiento Primario
 - Instalación del Tanque Imhoff prefabricado
- Humedal Artificial
 - Impermeabilización
 - Colocación de material granular
 - Plantación de Macrófitas

- Eras de Secado
 - Ejecución de los lechos
 - Construcción de la cubierta correspondiente

3. Diagrama de Gantt

Para la correcta visualización de los tiempos establecidos para la ejecución de la obra, se expone el siguiente diagrama de Gantt:

Se observa que se han incluido las medidas mitigadoras de impacto ambiental y las medidas de seguridad y salud durante todo el desarrollo de la obra.

Además, se han incluido las pruebas finales de funcionamiento para verificar el correcto funcionamiento de la obra y la calidad de sus efluentes.

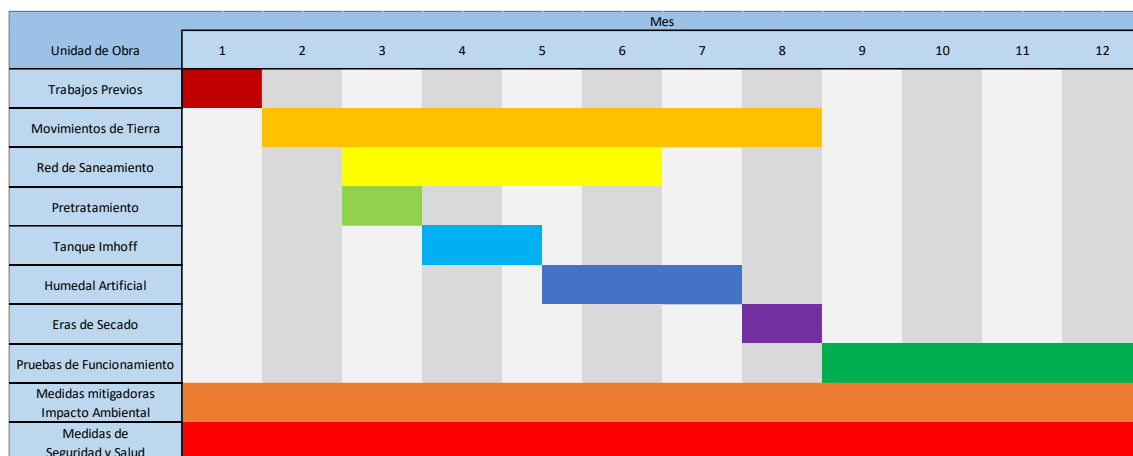


Figura 1 Diagrama de Gantt - Plan de Obra. Fuente: Elaboración propia

4. Referencias

CEDEX, M. d. (2021). *Manual para la Implantación de Sistemas de Depuración en Pequeñas Poblaciones*. Madrid.

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, España. (1976). *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes - PG3*. Madrid.

ANEJO N°15: SEGURIDAD Y SALUD

ÍNDICE

1. Objeto	5
2. Partes involucradas	5
3. Descripción General del Proyecto y Actividades a Desarrollar	7
3.1. Fases y Procesos Constructivos	7
3.2. Condiciones Específicas del Entorno	9
4. Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos	11
4.1. Metodología de Evaluación de Riesgos:	11
5. Medidas Preventivas y Protectoras Propuestas	17
5.1. Integración de la Seguridad en la Fase de Diseño:	17
5.2. Medidas Propuestas	17
5.2.1. Medidas frente a Caídas de Altura	18
5.2.2. Medidas para Trabajos en Espacios Confinados	18
5.2.3. Medidas para el Uso Seguro de Maquinaria de Movimiento de Tierras	19
5.2.4. Medidas frente a Riesgos Eléctricos	21
5.2.5. Medidas frente a Riesgos Químicos y Exposición a Aguas Residuales	23
5.2.6. Medidas frente a ruido, vibraciones y altas temperaturas	24
6. Uso de Equipos de Trabajo	25
6.1. Relación de Equipos de Trabajo Involucrados:	25
6.2. Mantenimiento e Inspecciones Periódicas:	26
6.3. Normas de Uso Seguro y Autorización:	26
7. Señalización y Balizamiento de Seguridad	27
7.1. Señalización General en la Obra:	27
8. Formación e Información a los Trabajadores	29

8.1.	Formación Preventiva Específica:	29
8.2.	Participación de los Trabajadores	30
8.3.	Documentación y registros	30
9.	Plan de Emergencia y Protocolos de Actuación	31
9.1.	Identificación de Situaciones de Emergencia:	31
9.2.	Recursos y Equipos de Emergencia Disponibles.....	32
9.3.	Organización del Plan de Emergencia.....	32
9.4.	Procedimientos de Actuación:	33
10.	Vigilancia de la Salud de los Trabajadores	34
11.	Referencias	35
12.	Anexo: Equipos de Protección Individual (EPIs)	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Señalización en obra. Fuente: Google.....	29

1. Objeto

El presente estudio de seguridad y salud tiene como objetivo desarrollar el análisis correspondiente a la ejecución de las obras para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Vereda Santa Isabel, Pasto, Colombia.

El estudio se realizará en cumplimiento con la normativa colombiana vigente en la materia de seguridad y salud laboral y aplicando los principios y recomendaciones de la normativa española aplicable.

Como parte de la metodología, se identificarán los riesgos laborales asociados al proyecto y se propondrán las medidas preventivas necesarias para su mitigación.

Finalmente, se incluirá un anexo con imágenes orientativas de los Equipos de Protección Individual (EPIs) que deberán utilizarse durante las distintas actividades de obra.

2. Partes involucradas

Los intervinientes en el proyecto y sus responsabilidades son:

- Promotor
 - Designar al Coordinador de Seguridad y Salud durante la fase de ejecución de la obra.
 - Facilitar al proyectista la información necesaria sobre los riesgos existentes en el lugar de la obra.
 - Aprobar el Estudio de Seguridad y Salud antes del inicio de las obras.
 - Garantizar que el contratista principal dispone del Plan de Seguridad y Salud adaptado al Estudio.
 - Verificar que las empresas contratadas cumplen la normativa en materia de prevención de riesgos laborales.
- Contratista
 - Redactar el Plan de Seguridad y Salud específico para la obra, conforme al Estudio aprobado.

- Aplicar las medidas de prevención y protección previstas.
 - Informar y formar adecuadamente a los trabajadores sobre los riesgos y medidas preventivas.
 - Cumplir la normativa vigente en materia de seguridad y salud en el trabajo.
 - Garantizar la vigilancia de la salud de los trabajadores a su cargo.
- Coordinador de Seguridad y Salud (designado durante la fase de proyecto y durante la obra, si procede)
 - Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad en las fases de concepción, estudio y elaboración del proyecto.
 - Validar el Estudio de Seguridad y Salud.
 - Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad durante la ejecución de la obra.
 - Aprobar el Plan de Seguridad y Salud presentado por el contratista antes del inicio de los trabajos.
 - Organizar la coordinación de actividades empresariales en la obra.
 - Supervisar el cumplimiento del Plan de Seguridad y Salud y proponer medidas correctoras si fuera necesario.
 - Coordinar las acciones de control de la correcta aplicación de los métodos de trabajo.
- Dirección Facultativa
 - Supervisar que la ejecución de la obra se ajusta al proyecto aprobado, incluyendo el cumplimiento del Estudio de Seguridad y Salud.
 - Colaborar con el Coordinador de Seguridad y Salud en la resolución de problemas técnicos relacionados con la prevención de riesgos.

- Emitir órdenes técnicas para la corrección de incumplimientos relacionados con la seguridad.
- Informar al promotor y al Coordinador de Seguridad y Salud de cualquier desviación relevante del Plan de Seguridad y Salud o de situaciones de riesgo grave e inminente.
- Validar técnicamente las modificaciones del Plan de Seguridad y Salud si afectan al proyecto.

Cabe destacar que la responsabilidad última en materia de seguridad recae en el empresario o contratista encargado de la ejecución, quien debe asegurar la correcta aplicación del plan de seguridad, sin perjuicio de las obligaciones y responsabilidades que correspondan a cada parte involucrada.

3. Descripción General del Proyecto y Actividades a Desarrollar

3.1. Fases y Procesos Constructivos

Se prevé que los principales procesos constructivos a analizar, junto con la maquinaria necesaria, para garantizar la seguridad y salud durante su ejecución sean los siguientes:

- Desbroce del terreno: Limpieza de vegetación, retirada de matorrales y obstáculos del terreno donde se ubicará la PTAR.
 - Machetes
 - Motosierras
 - Desbrozadoras manuales o de mochila
 - Retroexcavadora ligera en su caso
- Movimientos de tierra: Excavación de la capa vegetal y excavaciones generales, apertura de zanjas y pozos (para tuberías, cimentaciones y estructuras de pretratamiento prefabricadas, tanque Imhoff), conformación de rellenos y terraplenes, y compactación del terreno.
 - Retroexcavadora ligera o miniexcavadora

- Carretillas, palas y picos para tareas manuales en zonas estrechas
 - Compactador tipo rana o placa vibratoria pequeña para rellenos
- Obra civil de pretratamiento y llegada: instalación del pretratamiento prefabricado. Incluye trabajos de movimientos de tierra, izado del pretratamiento, conexión y relleno de pozo, para formar estas estructuras parcialmente enterradas.
 - Herramientas manuales para excavación puntual
 - Poleas, trípodes o cabrestantes manuales para izado de materiales
- Tanque Imhoff: Instalación del tanque Imhoff para sedimentación y digestión primaria de lodos. Las actuaciones comprenden:
 - Excavación manual o con retroexcavadora ligera.
 - Izado del tanque
 - Relleno y compactación del terreno
- Humedal artificial: Excavación del vaso donde se ubicará el humedal, impermeabilización, llenado con capas filtrantes y plantación de macrófitas.
 - Miniexcavadora o trabajo manual con cuadrillas (según profundidad).
 - Carretillas para distribución de grava, arena, tierra vegetal.
 - Mangueras o bombas portátiles para llenado/pruebas.
- Red de saneamiento: Colocación de tuberías de alcantarillado que conectan las distintas unidades y llevan el agua residual desde la comunidad hasta la PTAR y del efluente tratado hasta el punto de vertido. Incluye excavación de zanjas lineales, instalación de tuberías, construcción de pozos de inspección o cámaras, pruebas de estanqueidad y relleno de zanjas.
 - Retroexcavadora compacta o miniexcavadora (si el acceso lo permite).
 - Apuntalamiento manual (en caso de profundidad >1.2 m).

- Niveles manuales o láser compactos.
- Compactadores ligeros tipo plancha vibratoria.
- Vallado perimetral: Instalación de cerramiento alrededor de la planta (postes y malla). Puede requerir excavación de pequeños pozos para los postes, su anclaje y tensado de la malla, usando escaleras o andamios de baja altura para labores en la parte superior del cerramiento (2 m).
 - Barrena manual o perforadora de suelo portátil.
 - Llaves, pinzas, elementos de amarre y fijación

Para cada fase se indica brevemente el proceso constructivo, maquinaria involucrada (por ejemplo, retroexcavadoras o excavadoras para movimiento de tierra, camiones, compactadoras, herramientas manuales y eléctricas para montaje, etc.), y número estimado de trabajadores involucrados. También se incluye el orden previsto de ejecución de los trabajos, destacando aquellas tareas que se realizarán simultáneamente o sucesivamente, dado que la organización temporal influye en la evaluación de riesgos (por ejemplo, evitar solapamientos peligrosos de actividades).

3.2. Condiciones Específicas del Entorno

A su vez, existen riesgos que se derivan no de la ejecución de la obra en sí, sino de condiciones como, por ejemplo:

- Riesgos derivados de la ubicación geográfica de la PTAR
 - Altitud: al ejecutarse la obra a una altura aproximada de 2800 m.s.n.m se pueden dar casos de fatiga o reducción del rendimiento físico de los trabajadores no aclimatados
 - Accesos limitados: al encontrarse en una zona de difícil acceso (la principal vía es a través de lanchas provenientes de la vereda más grande alrededor del Humedal, que se encuentra a 45 minutos de viaje, sumado a otros 45-60 minutos de transporte por tierra hasta la ciudad de Pasto)
 - Presencia de fauna autóctona que pudiera eventualmente al recinto
- Riesgos derivados de la climatología

- Precipitaciones intensas y repentinas, con riesgo de inundaciones locales, deslizamientos de taludes, acumulación de agua en las zanjas, etc.
- Radiación solar, la cual puede ser intensa durante el día, provocando golpes de calor, insolaciones, deshidratación, etc.
- Riesgos hidrogeológicos
 - Nivel freático alto, lo que genera riesgo de infiltraciones en las excavaciones, sugiriendo la necesidad de tener preparados sistemas de achique
- Riesgos por falta de servicios
 - Ausencia de red eléctrica estable, lo que obliga a usar generadores, los cuales acarrean otros riesgos adicionales
 - Escases de señal de móvil: aunque en la vereda hay una red instalada de WiFi, esta presenta baja velocidad de carga y descarga de datos, corto alcance y mucha inestabilidad
- Riesgos sociales de la comunidad
 - Ingreso de personas ajenas a la obra: los habitantes de la vereda Santa Isabel, debido a ser muy proactivos y colaboradores, presentan predisposición a “ayudar” aunque no cuenten con la formación necesaria para realizar algunos trabajos de obra, esto conlleva un riesgo de accidente.
 - Interferencia con caminos, veredas o servidumbres: aunque no se prevé este tipo de afección, se debe mencionar la costumbre del “campo a través” presente en algunos pobladores, que pudiese llevar a ingresos no autorizados al área donde se ejecutan los trabajos

Así mismo, se describen las características del agua residual a tratar (principalmente doméstica, potencial presencia de patógenos, eventualmente algunos contaminantes químicos). Estas características influyen directamente en los riesgos biológicos y químicos a los que están expuestos los trabajadores durante la ejecución de la obra, especialmente en actividades como las conexiones con alcantarillado existente y las pruebas de la planta.

4. Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos

4.1. Metodología de Evaluación de Riesgos:

Se ha optado por una valoración cualitativa-descriptiva, especialmente adecuada en entornos de obra de baja mecanización, acceso restringido y condiciones rurales, como es el caso de la PTAR objeto de este proyecto.

Este enfoque permite identificar los riesgos inherentes a cada fase de obra, clasificar su nivel de peligrosidad en términos generales (bajo, medio, alto), y proponer medidas de prevención coherentes con los recursos y limitaciones del entorno. Se han tenido en cuenta factores técnicos, humanos, organizativos y ambientales, así como la posible interacción entre ellos.

Así, por cada trabajo de obra, se tiene:

- Desbroce del terreno
 - Riesgos:
 - Cortes por contacto con la cuchilla o cadena
 - Proyección de astillas o fragmentos (gafas de protección)
 - Sobrecarga muscular o fatiga por peso del equipo.
 - Exposición prolongada a niveles de ruido elevados generados por motosierras o desbrozadoras
 - Picaduras de insectos o mordeduras de animales ocultos
 - Tropiezos y caídas por raíces, piedras u objetos ocultos en el suelo
 - Fatiga térmica por exposición directa al sol y esfuerzo físico sostenido
 - Contacto eléctrico directo durante la instalación de equipos eléctricos
 - Contacto eléctrico indirecto por herramientas o cables defectuosos, alargaderas en mal estado

- Riesgos químicos: combustibles, lubricantes, productos de limpieza u otros, que pueden liberar gases irritantes o tóxicos
- Estos riesgos son altos para lo relacionado con cortes y ruido, pudiendo llegar a provocar lesiones graves. Medios para tropiezos o picaduras y bajo en los casos de fatiga o molestias
- Movimientos de tierra
 - Riesgos:
 - Atrapamiento o golpe por giro inesperado del brazo de la excavadora
 - Vuelco del equipo en terreno irregular
 - Colisión con personas u obstáculos, contacto con elementos móviles
 - Caída del operador al subir/bajar sin puntos de apoyo
 - Derrumbe de taludes o paredes de zanja, especialmente en suelos inestables
 - Vibración prolongada de compactadores
 - Contacto eléctrico directo durante la instalación de equipos eléctricos
 - Contacto eléctrico indirecto por herramientas o cables defectuosos, alargaderas en mal estado
 - Caída de personas al interior de zanjas
 - Proyección de partículas al excavar o manipular material suelto
 - Esfuerzo físico excesivo al realizar tareas manuales continuas
 - Caída de materiales o herramientas desde altura o borde de excavación, que puedan golpear a trabajadores
 - Ruido

- Riesgos químicos: combustibles, lubricantes, productos de limpieza u otros, que pueden liberar gases irritantes o tóxicos
- Riesgo muy alto en caso de derrumbes o atrapamientos, pudiendo tener consecuencias graves. El riesgo por lesiones por maquinaria o para caídas a nivel (o a poca altura) es alto. Por último, el riesgo para proyección de partículas y molestias físicas es medio.
- Obra de llegada y pretratamiento
 - Riesgos
 - Aplastamiento por caída de materiales mal asegurados durante el izado
 - Contacto con superficies húmedas o resbaladizas
 - Dificultad de salida y rescate en caso de emergencia
 - Posibilidad de inundación repentina
 - Vuelco del equipo en terreno irregular
 - Contacto eléctrico directo durante la instalación de equipos eléctricos
 - Contacto eléctrico indirecto por herramientas o cables defectuosos, alargaderas en mal estado
 - Atrapamientos por partes móviles de equipos
 - Caída de materiales o herramientas desde altura o borde de excavación, que puedan golpear a trabajadores
 - Riesgos químicos: combustibles, lubricantes, productos de limpieza u otros, que pueden liberar gases irritantes o tóxicos
 - Riesgos biológicos al tratar con aguas residuales
 - El riesgo es muy alto para caídas en altura o en choques eléctricos. Este es alto para los aplastamientos o exposición a gases. Para los resbalones el riesgo es medio
- Tanque Imhoff

- Riesgos
 - Contacto con equipos vibratorios en espacios reducidos
 - Vuelco del equipo en terreno irregular
 - Caídas a distinto nivel en excavación profunda
 - Contacto con superficies húmedas o resbaladizas
 - Atmósferas peligrosas
 - Dificultad de salida y rescate en caso de emergencia
 - Posibilidad de inundación repentina
 - Lesión por postura forzada al trabajar con herramientas no adaptadas
 - Caída de materiales o herramientas desde altura o borde de excavación, que puedan golpear a trabajadores
 - Contacto eléctrico indirecto por herramientas o cables defectuosos, alargaderas en mal estado
 - Riesgos químicos: combustibles, lubricantes, productos de limpieza u otros, que pueden liberar gases irritantes o tóxicos
 - Riesgos biológicos al tratar con aguas residuales
- El riesgo por caídas y atrapamientos es muy alto. Es medio por cortes o ruido.
- Humedal Artificial
 - Riesgos:
 - Vuelco de carretilla en terreno inclinado o inestable
 - Cortes al manipular geotextil, piedras o grava
 - Riesgo ergonómico al cargar grava o tierra manualmente
 - Exposición prolongada al sol y calor
 - Deslizamientos en zonas húmedas o anegadas
 - Picaduras de insectos, contacto con fauna o plantas urticantes

- Vuelco del equipo en terreno irregular
- Colisión con personas u obstáculos, contacto con elementos móviles
- Caída de materiales o herramientas desde altura o borde de excavación, que puedan golpear a trabajadores
- Contacto eléctrico directo durante la instalación de equipos eléctricos de la planta
- Contacto eléctrico indirecto por herramientas o cables defectuosos, alargaderas en mal estado
- Riesgos químicos: combustibles, lubricantes, productos de limpieza u otros, que pueden liberar gases irritantes o tóxicos
- Riesgos biológicos al tratar con aguas residuales
- El riesgo por vuelcos y cortes es medio. Por picaduras, exposición al sol y deslizamientos es bajo.
- Red de Saneamiento
 - Riesgos:
 - Golpes con cazo de retroexcavadora
 - Atrapamientos entre maquinaria y personal a pie
 - Exposición a gases o líquidos residuales estancados
 - Dificultad de salida y rescate en caso de emergencia (aplica a pozos de registro)
 - Posibilidad de inundación repentina (pozos de registro)
 - Lesiones por malas posturas al manipular elementos pesados
 - Golpes o cortes al manipular tuberías o elementos de conexión
 - Exposición a vibraciones durante compactación prolongada.
 - Cortes con sierras, alicates o herramientas de unión.

- Vuelco del equipo en terreno irregular
- Colisión con personas u obstáculos, contacto con elementos móviles
- Caída de materiales o herramientas desde altura o borde de excavación, que puedan golpear a trabajadores
- Riesgos químicos: combustibles, lubricantes, productos de limpieza u otros, que pueden liberar gases irritantes o tóxicos
- Riesgos biológicos al tratar con aguas residuales
- El riesgo por caídas y exposición a contaminantes es alto. Medio por cortes y bajo para esfuerzos físicos.
- Vallado Perimetral
 - Riesgos:
 - Lesiones musculares por barrena manual en suelo duro
 - Rebote de alambre tenso al cortar o tensar malla
 - Caída durante la instalación de postes
 - Cortes o pinchazos con alambres
 - Esfuerzo físico por manipulación de elementos pesados
 - Exposición prolongada al sol
 - Caída de materiales o herramientas desde altura o borde de excavación, que puedan golpear a trabajadores
 - Riesgos químicos: combustibles, lubricantes, productos de limpieza u otros, que pueden liberar gases irritantes o tóxicos
 - El riesgo por caídas y cortes es medio y bajo por esfuerzos físicos

5. Medidas Preventivas y Protectoras Propuestas

5.1. Integración de la Seguridad en la Fase de Diseño:

En primer lugar, se parte de un enfoque de diseño seguro.

A continuación, se detallan las medidas adoptadas durante la fase de diseño del proyecto, orientadas a minimizar los riesgos tanto en la etapa de construcción como en la operación posterior de la instalación:

- **Decisiones técnicas y organizativas seguras:** Durante la fase de diseño se planificaron cuidadosamente las distintas etapas y trabajos constructivos con el fin de evitar solapamientos peligrosos y facilitar que las tareas se realicen de forma segura. Por ejemplo, se ha previsto que el tanque Imhoff se ejecute antes de instalar el humedal, para minimizar riesgos de maquinaria operando cerca de trabajadores que realizan plantaciones; también se ha considerado el espacio y accesos para maquinaria de excavación evitando interferencias con otras actividades.
- **Estimación adecuada de plazos:** El proyecto define una duración estimada para cada fase de obra que es realista, evitando programaciones aceleradas que impliquen sobrecarga de trabajo o improvisación (causas frecuentes de accidentes). Se justifica que los tiempos contemplan la ejecución segura de cada tarea.
- **Eliminación de peligros desde el diseño:** Cuando fue posible, el diseño ha eliminado o minimizado riesgos. Por ejemplo, se estudió la topografía del terreno para ajustar cotas y pendientes de modo que los taludes del humedal sean estables y no requieran taludes muy pronunciados. También se ha previsto una disposición de la planta que minimiza la profundidad de excavación necesaria y un diseño de zanjas de tuberías con pendientes suaves para reducir profundidades excesivas.

5.2. Medidas Propuestas

En este apartado se detallan las medidas preventivas a aplicar para eliminar, reducir y controlar los riesgos identificados anteriormente, siguiendo la jerarquía: primero medidas de eliminación o sustitución, luego protecciones colectivas, y en última instancia protecciones individuales (EPI) junto con medidas organizativas y formativas. Por cada grupo de riesgos se describen

las acciones preventivas específicas (muchas se derivan de la normativa española y guías técnicas, asegurando un nivel de protección alto).

Las principales medidas se estructuran según el tipo de riesgo:

5.2.1. Medidas frente a Caídas de Altura

- Protecciones colectivas en altura: Siempre que haya riesgo de caída > 2 m (bordes de excavaciones profundas, trabajos en plataformas), se instalarán barandillas de seguridad resistentes de altura mínima 90 cm con barra intermedia y rodapié para impedir caídas de personas u objetos. En las excavaciones (zanjas, fosos) de más de 2 m de profundidad que no estén cubiertas, se dispondrán barandillas perimetrales o se señalizarán y aislarán correctamente. Si se utilizan andamios, estos contarán con barandillas en todos los niveles de trabajo, plataformas seguras y acceso mediante escaleras integradas.
- Sistemas anticaídas individuales: Para trabajos puntuales en altura donde no es posible instalar barandilla, se emplearán arneses de seguridad enganchados a puntos firmes.
- Orden y limpieza para evitar caídas al mismo nivel: Se implementará un plan de retirada frecuente de escombros, nivelación de suelos en pasillos, y antideslizantes en zonas encharcadas. Se delimitarán itinerarios seguros de circulación peatonal en la obra, separados de zonas de tráfico de maquinaria. Se exigirá calzado de seguridad con suela antideslizante a todos los trabajadores para reducir resbalones. Además, se prohíbe dejar herramientas u objetos que puedan provocar tropiezos en pasarelas y áreas de paso (estas buenas prácticas derivan del principio general de mantener la obra en buen orden).

5.2.2. Medidas para Trabajos en Espacios Confinados

- Procedimiento de trabajo seguro en espacios confinados: Se elaborará un permiso de entrada a espacios confinados que deberá cumplirse estrictamente antes de cada ingreso a lugares como el tanque Imhoff o alcantarillas. Este procedimiento incluirá: medición de la atmósfera interior con detector multigás calibrado (para verificar presencia de O₂ suficiente, ausencia de H₂S, CH₄ u otros gases peligrosos), ventilación forzada previa (aportando aire fresco con un soplador/extractor

- portátil) y durante la intervención, aislamiento de tuberías o conductos (bloqueo para que no entre líquido mientras haya personal).
- Vigilancia y comunicación: Nunca se trabajará solo en un espacio confinado. Se asignará un vigilante exterior en comunicación constante (visual/verbal o por radio) con el operario interno, listo para iniciar rescate o dar alarma en caso de emergencia. Se establecerán señales convenidas y se probará el sistema de comunicación antes de entrar.
 - Equipos de rescate y seguridad: Todo trabajador que entre llevará un arnés anticaídas de cuerpo completo apropiado para rescate. También se dispondrá de equipos autónomos de respiración o máscaras con línea de aire en stand-by para rescatistas, en caso de atmósfera irrespirable. Un botiquín de primeros auxilios con suministro de oxígeno de emergencia estará disponible en las cercanías.
 - Formación específica: Solo personal entrenado en trabajos en espacios confinados realizará estas tareas. Se les habrá impartido formación teórico-práctica sobre los riesgos (asfixia, intoxicación, incendio/explosión, ahogamiento) y las medidas de control. Se realizarán simulacros de rescate periódicamente para asegurar la eficacia del plan de emergencia en estos espacios.
 - Equipos de medición: Se medirá la atmósfera no solo al inicio sino periódicamente durante la intervención, especialmente si el trabajo es prolongado o hay posibilidad de cambios. Si en cualquier momento las mediciones salen de rangos seguros, se evacuará inmediatamente el espacio.

5.2.3. Medidas para el Uso Seguro de Maquinaria de Movimiento de Tierras

- Selección y adecuación del equipo: La maquinaria a emplear (retroexcavadora, compactador) deberá cumplir con los requisitos mínimos de seguridad. Esto implica disponer de cabinas o marcos de protección contra vuelcos y caída de objetos cuando corresponda. Adicionalmente, las retroexcavadoras tendrán un sistema de retención (cinturón de seguridad) para el operador, obligatorio para evitar aplastamiento en caso de vuelco. Todos los órganos peligrosos

- (partes móviles) de las máquinas estarán equipados con resguardos o dispositivos de seguridad para impedir el acceso a zonas peligrosas.
- Mantenimiento y verificaciones diarias: Se implementará un programa de mantenimiento preventivo de la maquinaria. Antes de cada jornada, el operador realizará una inspección pre-operacional (estado de frenos, dirección, sistemas hidráulicos, neumáticos, alarmas acústicas, luces, etc.) siguiendo listas de chequeo según las recomendaciones del fabricante. Cualquier anomalía se registrará y la máquina no operará hasta ser subsanada. Estas comprobaciones periódicas garantizan que los riesgos mecánicos están controlados.
 - Zonas de trabajo delimitadas: Se definirán y señalizarán rutas seguras de circulación para maquinaria y zonas de exclusión donde esté operando la retroexcavadora u otro equipo. Se usarán barreras físicas o cintas de alta visibilidad para marcar el radio de acción, prohibiendo la entrada de personal ajeno. Un señalista o vigilante apoyará las maniobras cuando la visibilidad del operador sea limitada, manteniendo contacto visual permanente. La máquina deberá contar con alarmas acústicas (p.ej. avisador de marcha atrás) para alertar a los peatones cercanos, así como espejos y, de ser posible, cámaras para eliminar ángulos muertos.
 - Capacitación de los operadores: Solo personal autorizado y con formación específica manejará la maquinaria. El operador tendrá formación en prevención de riesgos específica de la máquina (por ejemplo, curso de operador de retroexcavadoras, incluyendo estabilidad, cargas, interpretación de señales). Se registrará la habilitación de cada maquinista. Adicionalmente, todos los conductores deberán: no ingerir alcohol o fármacos que afecten la capacidad, no hacer carreras ni maniobras imprudentes, estar siempre atento y nunca llevar pasajeros en la máquina.
 - Estabilidad y uso correcto: Para evitar vuelcos, el operador respetará las cargas nominales y no excederá pendientes seguras. Si hay que trabajar en taludes inclinados, se acondicionará primero una plataforma lo más nivelada posible. Nunca se usará la pala o el cazo para elevar o transportar personas. En paradas, la máquina se estacionará en terreno llano, con freno de estacionamiento aplicado, implementos apoyados en el suelo y motor apagado. Se prohíbe

expresamente situaciones peligrosas como remolcar el equipo con la pala o elevar el propio equipo usando el implemento.

- Protección del operador: Aunque la cabina ofrece cierta protección, el operador usará cinturón de seguridad y tendrá a mano martillo de emergencia para romper la luna en caso de vuelco si la puerta se atasca. Además, llevará los EPIs requeridos: casco (imprescindible cuando salga de la cabina), calzado de seguridad, guantes de trabajo (para manipular piezas o emergencias) y protección auditiva si el ruido supera niveles seguros. Si la cabina no cierra totalmente, usará gafas de seguridad para proteger ojos de proyecciones. También se asegurará de no llevar ropa suelta que pudiera quedar atrapada en partes móviles.
- Seguridad en operaciones de mantenimiento de maquinaria: Antes de cualquier intervención de mantenimiento, se inmovilizará completamente la máquina: motor apagado, batería desconectada o bloqueo de arranque, implementos apoyados o asegurados. Se colocarán etiquetas de “No Accionar” y candados si es un mantenimiento mayor. Si hay que trabajar bajo la máquina, se usarán soportes seguros (puntales) nunca solo el sistema hidráulico. Las reparaciones se harán en área ventilada (especialmente si implica soldar o usar disolventes) y nunca se usará llama abierta para iluminar (riesgo de explosión de gases). Todos los mecánicos coordinados y con herramientas adecuadas.
- Medidas contra ruido y vibraciones: La maquinaria se mantendrá en buen estado (escape, motor) para minimizar ruido y vibraciones. Donde sea posible, se instalarán pantallas acústicas provisionales si hay una fuente de mucho ruido estacionaria. Los operadores rotarán tareas o tendrán pausas para no exceder tiempos de exposición a vibración de cuerpo entero. Se proveerán asientos antivibratorios en la maquinaria y guantes anti-vibración para herramientas manuales vibrátiles, cumpliendo la obligación de limitar la exposición a estos agentes físicos.

5.2.4. Medidas frente a Riesgos Eléctricos

- Instalación eléctrica temporal de obra segura: Todo el sistema eléctrico provisional (cuadros generales de obra, alargaderas, iluminación) Se usarán circuitos con toma de tierra y diferenciales para

- protección contra contactos indirectos. Los enchufes y cuadros estarán en cajas estancas, protegidos de la intemperie. Las líneas eléctricas se tenderán elevadas o enterradas para no entorpecer, evitando cables sueltos por el suelo que puedan dañarse.
- Protección frente a contactos directos: Se cortará la corriente y bloqueará antes de trabajar en cualquier instalación eléctrica permanente de la PTAR. Se utilizarán herramientas aisladas para tareas eléctricas y se verificará la ausencia de tensión con equipos de medición calibrados. Si hubiera que trabajar en proximidad de líneas eléctricas activas (por ejemplo, si hubiese una línea aérea cerca de la excavación), se coordinará su desenergización temporal con la empresa de suministro, o se mantendrán distancias de seguridad y barreras aislantes según normativa.
 - Equipos eléctricos seguros: Herramientas eléctricas portátiles (amoladoras, taladros, bombas de achique) serán de doble aislamiento o conectadas a tierra con clavija de 3 pines, y se inspeccionarán regularmente sus cables y enchufes. No se usarán equipos domésticos improvisados; solo equipamiento certificado para uso industrial. Los cuadros de obra incorporarán bases de enchufe con tapa y protección magnetotérmica. Cualquier equipo con aislamiento dañado será retirado inmediatamente.
 - Señalización y control de energías peligrosas: Se colocarán rótulos de “Alto Voltaje”, “No operar – personal trabajando” u otras señales de advertencia en los cuadros y puntos de maniobra correspondientes mientras haya personas trabajando en la instalación eléctrica. En la entrada de obra se informará claramente sobre la localización de cables soterrados existentes para evitar roturas en excavación (consultando planos de redes). Durante trabajos de soldadura eléctrica, se delimitará el área, usando pantallas para proteger a terceros de radiación de soldadura, y el soldador usará pantalla facial adecuada. Extintores estarán cercanos en trabajos eléctricos calientes.
 - Protección personal y formación: Los trabajadores recibirán instrucciones sobre principios básicos sobre trabajar con electricidad. Se dotará de botas dieléctricas y guantes aislantes a electricistas para ciertas tareas de tensión. Ante condiciones húmedas (exterior bajo lluvia), se suspenderán trabajos eléctricos no urgentes. Todos los

involucrados estarán formados en primeros auxilios específicos para choque eléctrico (cómo cortar corriente y atender a una víctima de electrocución).

5.2.5. Medidas frente a Riesgos Químicos y Exposición a Aguas Residuales

- Control de exposición a agentes químicos: Se sustituirán, si es posible, productos químicos peligrosos por otros menos nocivos. Los envases de sustancias químicas estarán etiquetados y se almacenarán en un armario o cuarto de químicos con cerradura, sombra y ventilación. Se dispondrán fichas de datos de seguridad de cada producto en obra y el personal será entrenado en su manejo seguro (EPI requerido, procedimientos en caso de contacto o derrame). Para manipular cal u otros polvos, se proporcionarán mascarillas con filtro de polvo y se humedecerá ligeramente el material para evitar polvo en suspensión.
- Higiene industrial y personal: Se implementarán medidas generales de higiene para minimizar la ingestión o contacto con contaminantes. Estará prohibido comer, beber o fumar en las zonas de trabajo donde haya exposición a aguas residuales o químicos. Los trabajadores deberán lavarse las manos y brazos a conciencia con agua y jabón antes de comer o beber y al final de la jornada. Se recomendará incluso lavarse y cepillarse las uñas antes de las comidas, dada la naturaleza contaminante del trabajo. Al finalizar la jornada, es obligatoria una ducha completa. La ropa de trabajo contaminada no debe llevarse a casa: se dispondrá de servicio de lavandería o de protocolos para su lavado seguro, evitando exponer a familias.
- Equipos de Protección Individual (EPI) especiales: Contra salpicaduras o contacto con aguas residuales, se suministrarán guantes impermeables de nitrilo o PVC (de puño largo) y botas de caucho también impermeables. Es indispensable usar correctamente los guantes y asegurar su impermeabilidad (se revisarán antes de cada uso). Para tareas con riesgo de aerosoles de aguas servidas (por ejemplo, chorros durante limpieza de tuberías o salpicaduras al vaciar lodos), se utilizarán mascarillas o respiradores con filtro para bioaerosoles y protección ocular (gafas ajustadas o pantalla facial). Toda la indumentaria de agua (trajes impermeables, guantes, botas) se limpiará y desinfectará meticulosamente tras su uso, evitando que

quede contaminada. En caso de utilizar químicos corrosivos, además de lo anterior, se proveerán delantales resistentes a químicos y, si hay riesgo de gases irritantes, respiradores con cartuchos adecuados.

- **Vacunación y vigilancia médica:** se ofrecerá la vacunación preventiva a los trabajadores expuestos a aguas residuales, siempre que existan vacunas eficaces para los riesgos identificados. Específicamente, se recomendará la vacuna contra el tétanos (obligatoria en construcción), la Hepatitis A y B (muy aconsejable por la presencia de virus en aguas residuales) y posiblemente la fiebre tifoidea. Estas vacunas se ofrecerán previo consejo médico, sin que sustituyan en ningún caso las medidas de protección e higiene (son un complemento).
- **Gestión de residuos y desinfección:** Se dispondrá de recipientes para depositar elementos contaminados (trapos, EPIs desechables) y se gestionarán como residuos biológicos o según normativa ambiental local. Si un trabajador sufre una herida o corte durante la obra, se limpiará y desinfectará inmediatamente, y se evaluará profilaxis (p. ej. antitetánica si no tiene dosis recientes). Las áreas de trabajo con aguas residuales se podrán rociar con desinfectante (p.ej. solución clorada) tras las intervenciones, para reducir la carga biológica. En caso de contacto accidental con agua residual (caída de un trabajador en zanja con aguas negras, etc.), se activará un protocolo de limpieza, cambio de ropa inmediata y evaluación médica.
- **Prevención de aerosoles y operaciones que los generan:** Se priorizarán técnicas de trabajo que no generen aerosoles de agua residual. Por ejemplo, al vaciar o bombear líquidos, hacerlo lentamente o por métodos que minimicen salpicaduras. Si es inevitable la generación de aerosol (limpieza con hidrolavadora, etc.), los trabajadores involucrados deberán usar protección respiratoria y ocular estrictamente, y se delimitará la zona.

5.2.6. Medidas frente a ruido, vibraciones y altas temperaturas

- **Control del ruido en obra:** Se dará preferencia a maquinaria y equipos silenciados o menos ruidosos siempre que sea posible. Las tareas muy ruidosas se agruparán en horarios delimitados y se avisará al personal para que se aleje si no es necesario. Se proveerá protección auditiva a los trabajadores expuestos.

- Reducción de vibraciones: Para la vibración mano-brazo, se seleccionarán herramientas con sistemas antivibración y se limitará su tiempo de uso diario. Los operarios de martillos neumáticos, compactadores manuales, etc., usarán *guantes antivibración* y harán pausas regulares. La vibración de cuerpo entero (por conducción de maquinaria) se mitigará con asientos con suspensión en vehículos y gestionando velocidades en terreno irregular. Si es viable técnicamente, se optará por métodos alternativos. El objetivo es cumplir con lo dispuesto en la normativa de reducir al máximo la generación y transmisión de vibraciones nocivas.
- Prevención de consecuencias por exposición a altas temperaturas y otros factores ambientales: En condiciones de calor, se ajustará la jornada para evitar las horas más tórridas, se proveerán bebidas hidratantes y zonas de sombra para descanso. En condiciones de lluvia o frío, se facilitará ropa de abrigo impermeable y refugio. El encargado vigilará signos de golpe de calor o hipotermia en los trabajadores. Para rayos UV, además de la ropa adecuada, se recomendará uso de protector solar en piel expuesta. Ante tormentas eléctricas, se suspenderán trabajos en altura o con riesgo (especialmente evitar uso de grúas o elementos metálicos altos).

6. Uso de Equipos de Trabajo

Este capítulo recoge las garantías y buenas prácticas relativas a los equipos de trabajo utilizados en la obra (maquinaria, herramientas, aparatos) para asegurar que su utilización no genera riesgos adicionales.

Los puntos clave son:

6.1. Relación de Equipos de Trabajo Involucrados:

Se listan los principales equipos a emplear en la obra: maquinaria retroexcavadora (cavadora, compactador vibratorio), equipos de elevación (si aplica, por ejemplo, trípodes para motores/bombas), herramientas eléctricas portátiles (taladros, amoladoras, soldadoras), herramientas manuales (palas, picos, sierras, llaves) y equipos especiales (detector de gases, bombas de achique, generador eléctrico, etc.). Para cada categoría se indica que se ha verificado su conformidad con estándares de seguridad. No se permitirá el uso de equipos caseros o modificados que comprometan la seguridad.

6.2. Mantenimiento e Inspecciones Periódicas:

Se reforzará que todos los equipos deben mantenerse en correcto estado. Además de las verificaciones diarias por usuarios, habrá inspecciones formales: por ejemplo, revisión eléctrica de herramientas cada cierto número de usos (test de aislamiento), inspección de cables, inspección trimestral del estado del gancho y cable del trípode de rescate, etc. Los resultados se documentarán. Si un equipo sufre una avería o incidente, tras la reparación se hará una comprobación de seguridad antes de reintroducirlo al servicio. Se llevará un registro de mantenimiento e inspecciones a disposición de la Coordinación de Seguridad.

6.3. Normas de Uso Seguro y Autorización:

Solo personal autorizado podrá utilizar ciertos equipos. Esto se aplicará rigurosamente a maquinaria pesada (operadores con licencia/carnet) y a equipos como soldadoras o motosierras (formación específica). Además, antes de usar cualquier equipo, los trabajadores deberán leer y comprender las instrucciones del fabricante (se dispondrá de los manuales de uso en obra). Por ejemplo, en el generador se pegará un esquema de arranque seguro y conexión de cargas.

5.5 Medidas específicas para determinados equipos: Se describen requisitos particulares, por ejemplo:

- Equipos móviles con conductor: Deben tener dispositivos para prevenir arranque no autorizado (llaves bajo control), frenos en buen estado, y dispositivos auxiliares como retrovisores, cámaras o alarmas para mejorar la visibilidad y evitar colisiones. Estarán dotados de extintores portátiles si presentan riesgo de incendio (p. ej. máquina de combustible diésel).
- Herramientas manuales y portátiles: Deben estar en buen estado (mangos firmes, sin grietas). Se evitará usar herramientas improvisadas o defectuosas. Se proporcionarán las herramientas adecuadas para cada tarea para evitar esfuerzos indebidos o usos incorrectos. Las herramientas eléctricas tendrán sus protectores siempre colocados (por ejemplo, la guarda de la amoladora siempre cubriendo la parte de disco no usada). Si se requiere alargar un mango o aplicar fuerza extra, se evaluará otra herramienta más idónea en lugar de forzar la existente.

7. Señalización y Balizamiento de Seguridad

7.1. Señalización General en la Obra:

La obra estará dotada de señalización de seguridad suficiente y clara para advertir peligros, indicar obligaciones y proporcionar información importante. Esto incluye:

- Señales de advertencia de riesgos: Por ejemplo, señal triangular de “Peligro, maquinaria en movimiento” en los accesos a la zona de trabajo de excavadoras; “Peligro, alto voltaje” en cuadros eléctricos; “Riesgo biológico” cerca de puntos de contacto con aguas residuales; “Atención: trabajo en altura” debajo de zonas donde se esté trabajando encima; “Peligro, atmósfera peligrosa” en la entrada a espacios confinados.
- Señales de obligación: Carteles redondos azules indicando la necesidad de usar cascos, calzado de seguridad, chaleco reflectante en toda la obra.
- Señales de prohibición: “Prohibido fumar” y “Prohibido comer o beber” en la zona de contacto con aguas residuales (para reforzar las medidas higiénicas); “Prohibido el paso a personal no autorizado” en accesos restringidos.
- Balizamiento de áreas de riesgo: Uso de barreras físicas y cintas de señalización rojas/blancas para delimitar excavaciones, zonas de carga/descarga y perímetro de la obra. Las zanjas de más de 2 m estarán rodeadas de barandilla rígida o cerramiento seguro, pero incluso las de menor profundidad se balizarán con cinta reflectante para evitar caídas nocturnas.
- Señales de emergencia y salvamento: Indicadores de salida de emergencia (si se instalan vallados, las puertas de salida estarán señalizadas), ubicación de extintores y botiquín/puesto de primeros auxilios, así como teléfonos de emergencia (cartel con números: ambulancia, bomberos, centro de salud más cercano). Estas señales serán normalizadas (verde/blanco para emergencias).

De esta manera, se deberán instalar las mencionadas señalizaciones con las siguientes características:

- Las señales de color azul con forma circular corresponden a señales de obligación. Estas indican acciones que deben cumplirse obligatoriamente para proteger la salud y la seguridad en el entorno de trabajo. No son sugerencias, sino mandatos cuya omisión puede suponer un riesgo directo para el trabajador. Por ejemplo, el uso obligatorio de casco, gafas de protección, guantes, protección auditiva, calzado de seguridad o chaleco reflectante son medidas que deben respetarse estrictamente dentro del área de obra. Su función es prevenir accidentes relacionados con la exposición a agentes físicos, impactos, ruido o partículas.
- Las señales de advertencia están representadas por triángulos de color amarillo con borde negro e icono negro en el centro. Estas señales alertan sobre la presencia de un peligro o riesgo potencial en el entorno inmediato. Aunque no implican una acción obligatoria, sí requieren precaución por parte del trabajador. Ejemplos comunes incluyen el aviso sobre trabajos en altura, zonas con excavaciones o la operación de maquinaria pesada. Su función es aumentar el nivel de alerta del personal y evitar accidentes por desconocimiento del entorno.
- Las señales de prohibición, por su parte, se caracterizan por su forma circular, con fondo blanco, borde y barra diagonal de color rojo, e iconografía en negro. Indican claramente acciones que están terminantemente prohibidas dentro del área señalada. En el contexto de una obra, ejemplos típicos incluyen la prohibición de fumar o el ingreso de personas no autorizadas. Estas señales están orientadas a evitar conductas que puedan poner en riesgo la seguridad colectiva o comprometer la integridad de los procesos constructivos.

Un ejemplo de lo descrito se observa en la imagen siguiente:



Figura 1: Señalización en obra. Fuente: Google

8. Formación e Información a los Trabajadores

Antes del inicio de los trabajos, se impartirá a todos los trabajadores (incluyendo nuevos ingresos durante la obra) un curso en seguridad y salud específico del proyecto. En esta se les informará de todos los riesgos identificados anteriormente y de las medidas preventivas correspondientes, asegurando que conocen las normas de obra.

Se enfatizarán los riesgos de mayor gravedad (caídas de altura, espacios confinados, maquinaria) y las prohibiciones absolutas (por ejemplo, no entrar a un pozo sin permiso).

Los trabajadores recibirán información sobre el contenido del Estudio de Seguridad y Salud aplicable a sus tareas y se les entregará un folleto resumen o manual de obra segura, que incluya las normas internas y las instrucciones de emergencia.

8.1. Formación Preventiva Específica:

Además de la inducción general, se realizarán capacitaciones específicas según el puesto y las actividades:

- Trabajo en alturas: Curso teórico-práctico conforme a la normativa colombiana para quienes deban usar arnés, andamios, escaleras. Practicarán el uso correcto de equipos anticaídas y procedimientos de rescate básico.

- Espacios confinados: Formación específica en identificación de atmósferas peligrosas, uso de detectores de gases, ventilación, roles de entrada/vigilante, primeros auxilios en caso de asfixia. Esta formación va dirigida a personal que entre en pozos o tanques, e idealmente con simulacros.
- Operación de maquinaria: A los operadores se les dará (o verificará) la formación requerida en manejo defensivo, mantenimiento básico, señales manuales, etc. Al resto de trabajadores, una charla de trabajo alrededor de maquinaria para que sepan las zonas ciegas de las máquinas, las señales que usa el operador, y mantengan distancia de seguridad.
- Manejo de sustancias peligrosas y aguas residuales: Se entrenará a los trabajadores en las prácticas de higiene ya mencionadas y en el uso de los EPI (cómo quitarse los guantes y traje sin contaminarse, etc.). También en actuar ante salpicaduras (lavado inmediato) y conocer síntomas de posibles infecciones para reporte temprano.
- Emergencias y primeros auxilios: Se realizarán simulacros de emergencia (al menos 1 durante la obra) para que todos practiquen evacuación y atención a un herido. Algunos trabajadores serán formados en primeros auxilios básicos, otros y control de incendios incipientes.

Además, se colocará en el tablón de obra cartelería informativa. Esta información visible refuerza el mensaje formativo.

8.2. Participación de los Trabajadores

El estudio contemplará mecanismos para que los trabajadores comuniquen riesgos no detectados o situaciones peligrosas. Se anima a reportar “casi accidentes” o condiciones inseguras al encargado o al recurso preventivo en obra. Incluso se podría implementar un buzón de sugerencias de seguridad. La participación activa ayuda a mejorar la prevención continuamente.

8.3. Documentación y registros

Se mantendrá en obra un registro de formación con la firma de los trabajadores que han recibido cada capacitación. Así se demuestra el cumplimiento legal de informar y formar a los empleados. Asimismo, se archivará copia de las charlas impartidas (temario, fecha, asistentes) y

material utilizado. Esto garantiza trazabilidad y que nadie trabaje sin la debida información de riesgos.

Así, se definen las siguientes medidas de coordinación:

- Reuniones periódicas de seguridad: ya mencionadas, con actas que recojan acuerdos preventivos.
- Libro de Incidencias: presente en obra, donde el coordinador o la dirección facultativa anotarán cualquier incumplimiento grave o situación de riesgo, para que sea subsanado. Este libro será firmado y comunicado a todas las partes involucradas.
- Comunicación de accidentes/incidentes: Si ocurre un incidente o casi-accidente, se informará para tomar medidas de prevención conjuntas y evitar recurrencia.
- Acceso controlado a la obra: Se establecerán normas de acceso: todo personal o visitante deberá registrarse al entrar, recibir la instrucción de seguridad y usar los EPIs obligatorios.

En resumen, este capítulo asegura que todas las partes involucradas trabajarán bajo un marco preventivo común, evitando “cada uno por su lado”, lo que es crucial para riesgos como interferencias entre máquinas y personal, trabajos simultáneos en una misma zanja, etc., promoviendo un entorno seguro y coordinado.

9. Plan de Emergencia y Protocolos de Actuación

9.1. Identificación de Situaciones de Emergencia:

Sobre la base de los riesgos evaluados, se determinan las situaciones de emergencia previsibles en la obra. Esto incluye: accidente laboral grave (caída de altura, sepultamiento, politraumatismo por maquinaria), intoxicación o asfixia en espacio confinado, incendio en instalaciones o maquinaria (por derrame de combustible, cortocircuito), explosión (por acumulación de gas metano en alcantarilla, aunque esto sea poco probable al aire libre), evento natural adverso (inundación repentina de la zanja por lluvias torrenciales, sismo, etc.), y derrame de sustancia peligrosa (por ejemplo, gran fuga de combustible diésel de un equipo, o liberación de cloro durante pruebas).

9.2. Recursos y Equipos de Emergencia Disponibles

Se enumeran los medios materiales con que cuenta la obra para hacer frente a emergencias:

- Botiquines de primeros auxilios (ubicados en caseta de obra y, en su caso, en el vehículo de transporte)
- Camilla o tabla rígida para movilizar heridos si es preciso sacarlos de una zanja,
- Extintores portátiles
- Señalización de emergencias (sirena o silbatos para alertar evacuación),
- Equipo de rescate en altura/confinados (trípode con arnés y torno, cuerda de rescate, equipo de respiración de emergencia).

Se verificará que todos los trabajadores conocen la localización de estos equipos y cómo usarlos. Por ejemplo, se instruirá sobre el manejo básico de extintores a los brigadistas designados.

También se indica la disponibilidad de transporte: un vehículo siempre presente que puede servir para evacuar un herido leve al centro de salud. En este caso, se debe tener siempre una lancha lista para partir al centro de salud más cercano, cargada con combustible suficiente y con el motor en condiciones de funcionamiento adecuado, además, de haber espacio disponible para sujetar al herido en caso necesario.

Se deberá confeccionar una lista con los números de teléfono de emergencia (ambulancia, bomberos, policía, centro médico local).

9.3. Organización del Plan de Emergencia

Se establecen roles y responsabilidades en caso de emergencia:

- Jefe de Emergencia: usualmente el jefe de obra o el encargado de seguridad, quien asume la coordinación general en una emergencia. Toma decisiones de evacuar, contactar ayuda externa, etc.
- Equipo de Primera Intervención: un grupo de trabajadores formados encargados de primeros auxilios o de ataque inicial al fuego.
- Vigilante de Evacuación: persona que se asegura de que todos evacúen ordenadamente y controle un punto de reunión.

Se define un Punto de Encuentro seguro (fuera del área de peligro, por ejemplo, la entrada principal de la obra) donde todos deben acudir tras evacuar. Se dispondrá de una lista del personal para hacer recuento en caso de evacuación.

9.4. Procedimientos de Actuación:

Se detallan las acciones a seguir para cada tipo de emergencia identificada:

- Accidente con lesionados: Instrucciones de primeros auxilios: si es caída de altura o trauma, no mover al herido salvo peligro inminente, llamar al número de emergencia (ambulancia), asistir con botiquín (parar hemorragias con compresión, RCP si no respira, etc.) hasta que llegue ayuda profesional. El jefe de emergencia reportará el incidente a las autoridades si es grave (ARL en Colombia, etc.). Si el accidente ocurre en espacio confinado con atmósfera peligrosa, los rescatadores no entrarán sin protección respiratoria adecuada.
- Sepultamiento en zanja: se debe rescatar inmediatamente, pero asegurando la protección de rescatadores: primero, parar todo trabajo y maquinaria. No entrar a la zanja sin antes entibar o asegurar contra más derrumbes.
 - En caso de no poder evacuar a la víctima, se debe llamar a bomberos inmediatamente ya que cuentan con equipos especializados.
- Incendio: Al detectar fuego, si es pequeño intentar apagarlo con extintores cercanos. Si el fuego es mayor o fuera de control en segundos, dar la señal de alarma y evacuar a todos los trabajadores al punto de encuentro y llamar a bomberos. Cerrar suministro eléctrico general si el incendio pudiera tener origen eléctrico. Nunca usar agua sobre fuego de líquido inflamable o eléctrico. Los extintores solo los usarán quienes estén entrenados, manteniéndose a una vía de escape clara.
- Atmósfera tóxica/gaseosa: Si se identifica olor fuerte en un espacio confinado o zanja, nadie debe entrar. Si hay gente adentro, se ventilará inmediatamente y se usará equipo respiratorio antes de intentar un rescate. Llamar a bomberos si es grave. Establecer un perímetro de

seguridad porque algunos gases como metano pueden explotar; no encender llamas ni motores en las cercanías.

- Evacuación general: ante una alarma, todos deben interrumpir tareas, apagar equipos si es seguro hacerlo, y dirigirse al punto de reunión. El vigilante o jefe hará recuento y no se permitirá reingresar hasta que la autoridad lo autorice.
- Evento natural relacionado con la climatología: En caso de lluvia torrencial con riesgo de inundación, evacuar rápidamente zanjas y partes bajas, llevando a personal a zonas altas. Retirar o asegurar materiales que puedan flotar o ser arrastrados. Tras la lluvia, inspeccionar estabilidad de excavaciones antes de reanudar. En sismo, evacuar a área abierta lejos de estructuras; luego revisar andamios, taludes y demás antes de volver a entrar.

Se debe mencionar que el Plan de Emergencia es un documento que se debe revisar y modificar si cambian las condiciones.

10. Vigilancia de la Salud de los Trabajadores

Exámenes Médicos Iniciales y Periódicos: Conforme a la legislación de prevención (normativa colombiana de SST), se ofrecerá a todos los trabajadores una evaluación de salud inicial antes de su participación en la obra, enfocada en los riesgos a los que estarán expuestos. Este examen médico verificará su aptitud para trabajos en altura, para trabajos en espacios confinados y en general si están en condiciones para esfuerzo físico y uso de equipos y elementos de protección

Se aconseja, además, realizar reconocimientos médicos periódicos.

Control Biológico y Vacunaciones: Dada la exposición a agentes biológicos (aguas residuales), la vigilancia de la salud tendrá un componente específico:

- Se comprobará el estado de inmunización de los trabajadores en cuanto a tétanos y hepatitis, ofreciendo vacunas en su caso. Estas vacunas se administrarán preferentemente antes de la exposición (idealmente al empezar la obra). Se llevarán registros de quién fue vacunado de qué, y fechas de refuerzo si aplican.
- En caso de exposición significativa (por ejemplo, un trabajador que cayó a una zona con aguas residuales accidentalmente y tragó agua

residual), se realizará seguimiento médico especial: controles serológicos, profilaxis post-exposición (como inmunoglobulina anti-hepatitis B si no estaba vacunado, etc.), todo según protocolos de la ARL/autoridad sanitaria.

Evaluación de Aptitud y Retornos al Trabajo: Tras accidentes graves o baja prolongada, se hará una evaluación médica antes del retorno al trabajo para asegurar que está en condiciones y si requiere adaptaciones temporales.

Registro y Estadísticas de Salud: Se mantendrán registros agregados de los resultados de las vigilancias realizadas. Si se detectan problemas recurrentes, se investigarían las causas y se reforzarían las medidas preventivas.

La vacunación y la higiene son ejes centrales en esta obra por la naturaleza del proyecto, buscando proteger a los trabajadores de enfermedades infecciosas sin descuidar otros aspectos de su salud laboral.

11. Referencias

- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (1980). *NTP 126: Máquinas para movimiento de tierras*. Madrid.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (1998). *NTP 473: Estaciones depuradoras de aguas residuales: riesgo biológico*. Madrid.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2019). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción*. Madrid.
- Medidas de emergencia en obras de construcción*. (s.f.). Obtenido de <https://fitsafety.es/>
- Ministerio de Trabajo, Colombia. (2014). *Fondo de Riesgos Laborales*. Obtenido de Guía Trabajo Seguro en Excavaciones: <https://www.fondoriesgoslaborales.gov.co/>

ANEXO: EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPIs)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Casco. Fuente: EPI Construcción.....	3
Figura 2: Guantes. Fuente: EPI Construcción	4
Figura 3: Protección Visual. Fuente: EPI Construcción	4
Figura 4: Calzado de Seguridad. Fuente: EPI Construcción	5
Figura 5: Protección Respiratoria	6
Figura 6: Protección Auditiva. Fuente: EPI Construcción	6
Figura 7: Sistema Anticaída. Fuente: EPI Construcción	7

Casco



**PROTECCIÓN
OBLIGATORIA
DE LA CABEZA**

RIESGOS A PROTEGER	
Riesgos mecánicos	Impacto por caída de objetos
	Perforación
	Golpes contra objetos inmóviles
	Aplastamiento lateral
	Golpes en la cabeza por caídas.
Riesgos térmicos	Calor
	Llamas
	Proyección de materiales calientes
	Salpicaduras de metal fundido
Riesgos eléctricos	Contactos eléctricos directos
	Contactos eléctricos por arco

Figura 1: Casco. Fuente: EPI Construcción

Guantes



Figura 2: Guantes. Fuente: EPI Construcción

Gafas – Protección Visual



Figura 3: Protección Visual. Fuente: EPI Construcción

Calzado de Seguridad



RIESGOS A PROTEGER	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN
Riesgos mecánicos	
Caída de objetos, compresión o golpes en la parte delantera del pie	Puntera de seguridad o protección
Golpes en el metatarso	Protector del metatarso
Impacto por caída de objetos o golpes en la zona del tobillo	Refuerzos o almohadillas en los maléolos
Pisadas sobre objetos punzantes o cortantes	Plantilla resistente a la perforación
Caída e impacto sobre el talón	Absorción de energía en la zona del tacón
Caídas por deslizamiento	Suela antideslizante
Riesgos térmicos	
Ambiente frío	Suela aislante del frío
Ambiente caluroso	Suela aislante del calor
Proyección de partículas de metal fundido	Suela resistente al calor por contacto
Contacto con una superficie caliente	Empeine resistente a proyecciones de metal fundido
Riesgos químicos	
Contacto con ácidos, bases, disolventes, hidrocarburos, etc.	Suelas y empeines resistentes e impermeables
Riesgos eléctricos	
Contacto eléctrico	Calzado aislante de la electricidad
Descarga electrostática	Suela conductora, suela antiestática

Figura 4: Calzado de Seguridad. Fuente: EPI Construcción

Protección Respiratoria



Figura 5: Protección Respiratoria

Protección Auditiva

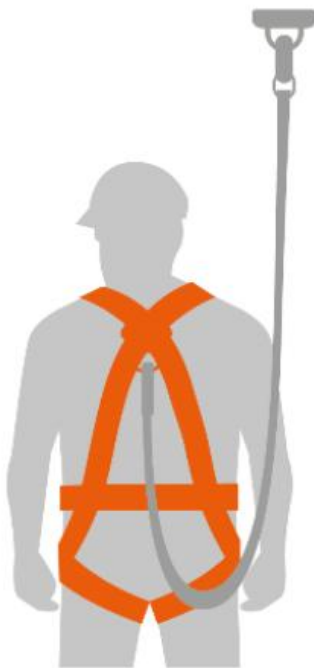


Figura 6: Protección Auditiva. Fuente: EPI Construcción

Sistema Anticaída - Arnés



PROTECCIÓN INDIVIDUAL
OBLIGATORIA CONTRA
CAÍDAS



Arnés



Sistema de conexión



Sistema de anclaje.

Figura 7: Sistema Anticaída. Fuente: EPI Construcción

Fuente:

Imágenes obtenidas de: <https://epiconstruccion.lineaprevencion.com/>

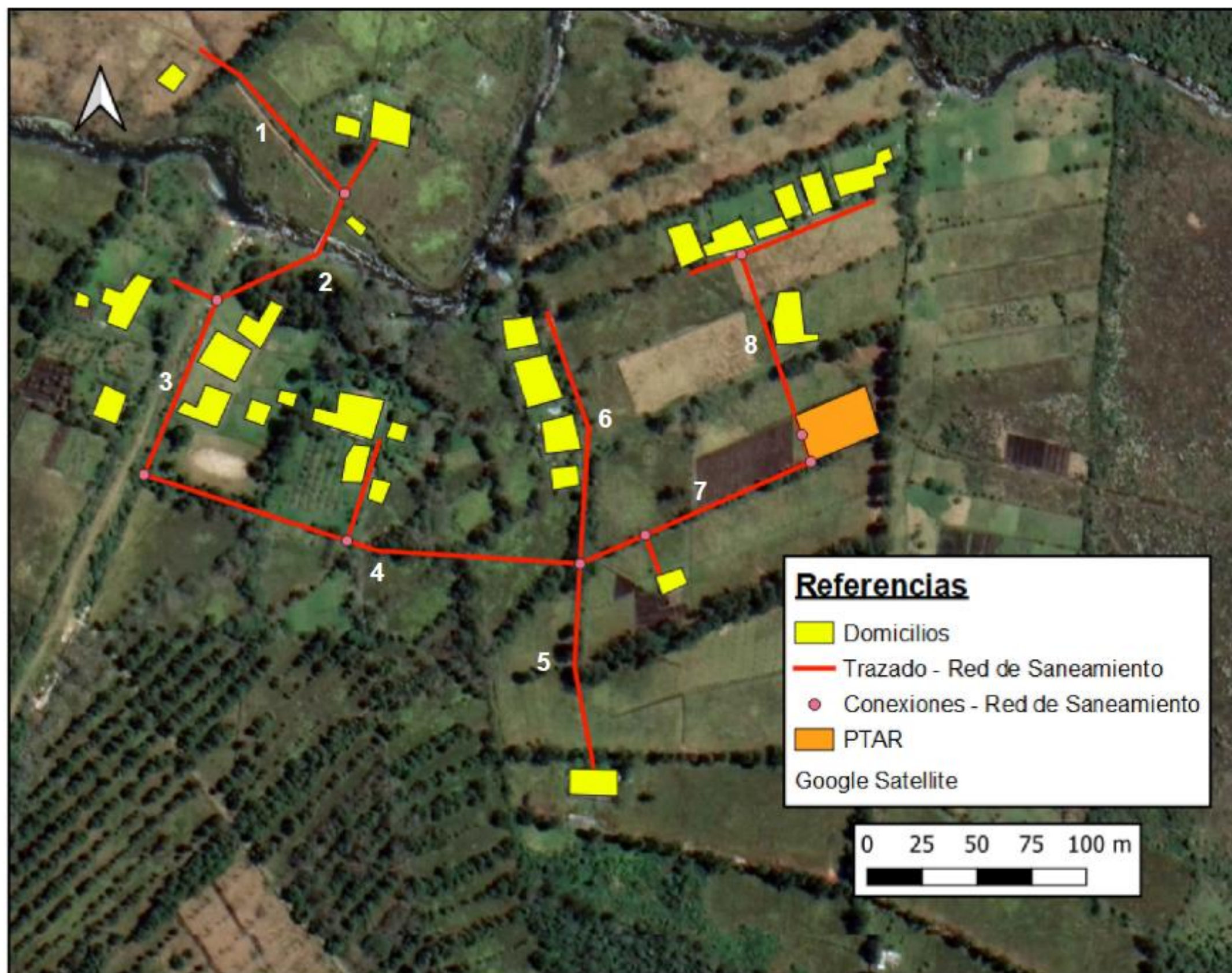
DOCUMENTO N°2: PLANOS

Contenido

- Plano N°1: Emplazamiento
- Plano N°2.1: Red de Saneamiento – Trazado
- Plano N°2.2: Red de Saneamiento – Perfiles Transversales 1 a 4
- Plano N°2.3: Red de Saneamiento – Perfiles Transversales 5 a 8
- Plano N°3: Zanja Tipo
- Plano N°4: Pretratamiento Prefabricado
- Plano N°5: Tanque Imhoff Prefabricado
- Plano N°6: Eras de Secado de Lodos
- Plano N°7: Humedal Artificial



AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO <i>Pedro</i>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA	ESCALA N/A	FECHA 08/09/2025	Nº PLANO 1
TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ	EMPLAZAMIENTO	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  Fundación José Entrecanales Ibarra  Ayuda en Acción		



AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO *Pedro*

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA

ESCALA
1 : 2000

FECHA
08/09/2025

Nº PLANO
2.1

TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO
ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ

RED DE SANEAMIENTO - TRAZADO



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

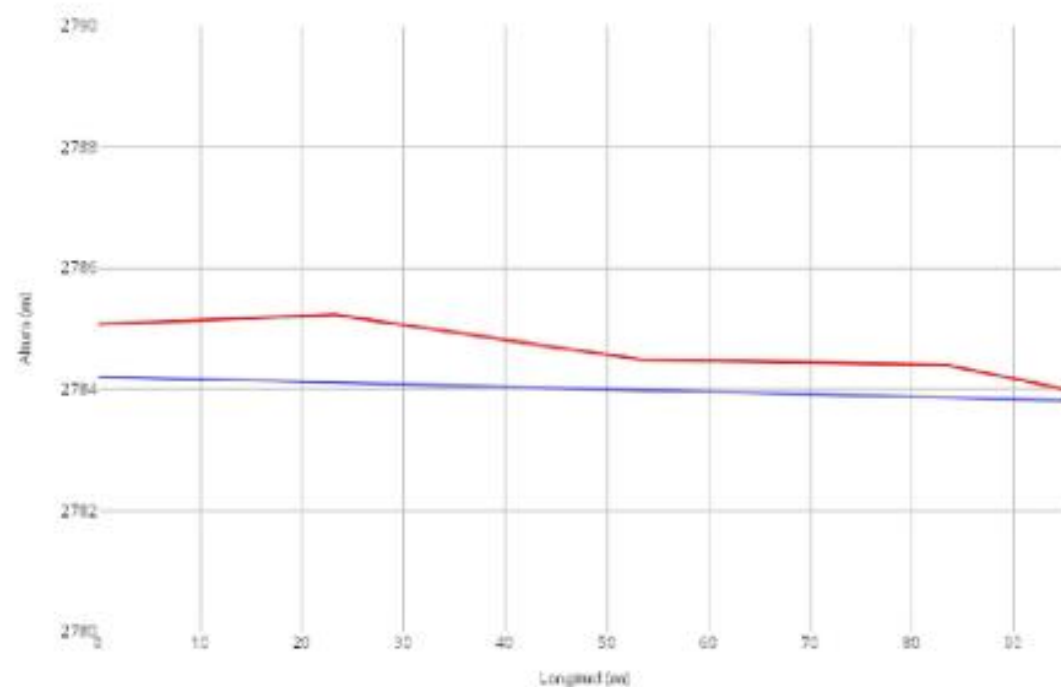


Fundación José
Entrecanales Ibarra

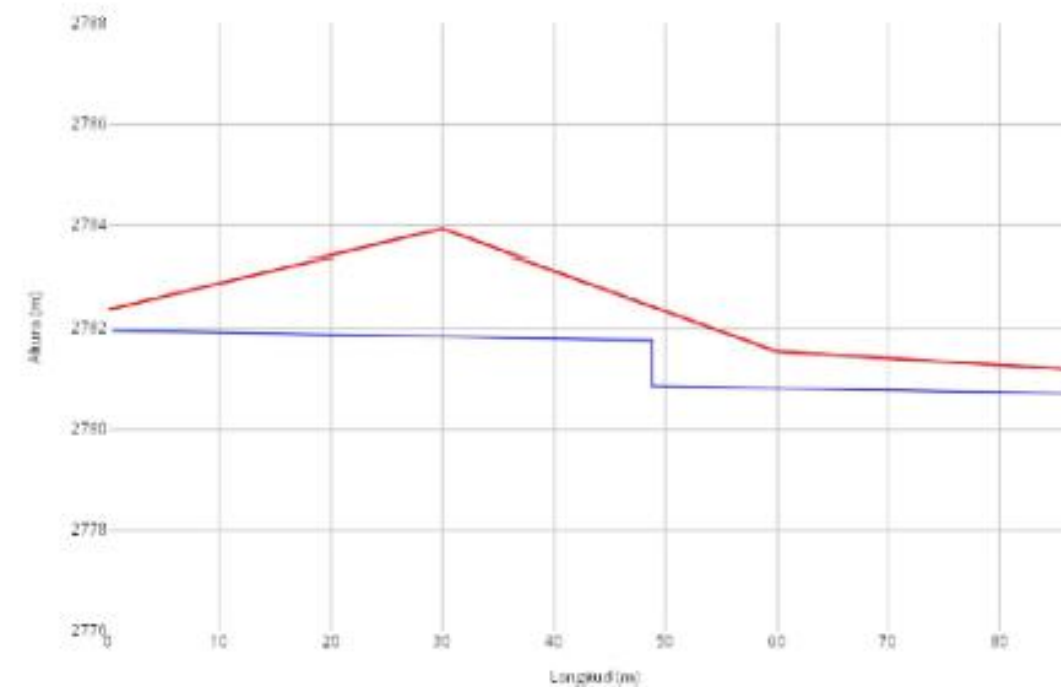


Ayuda
en Acción

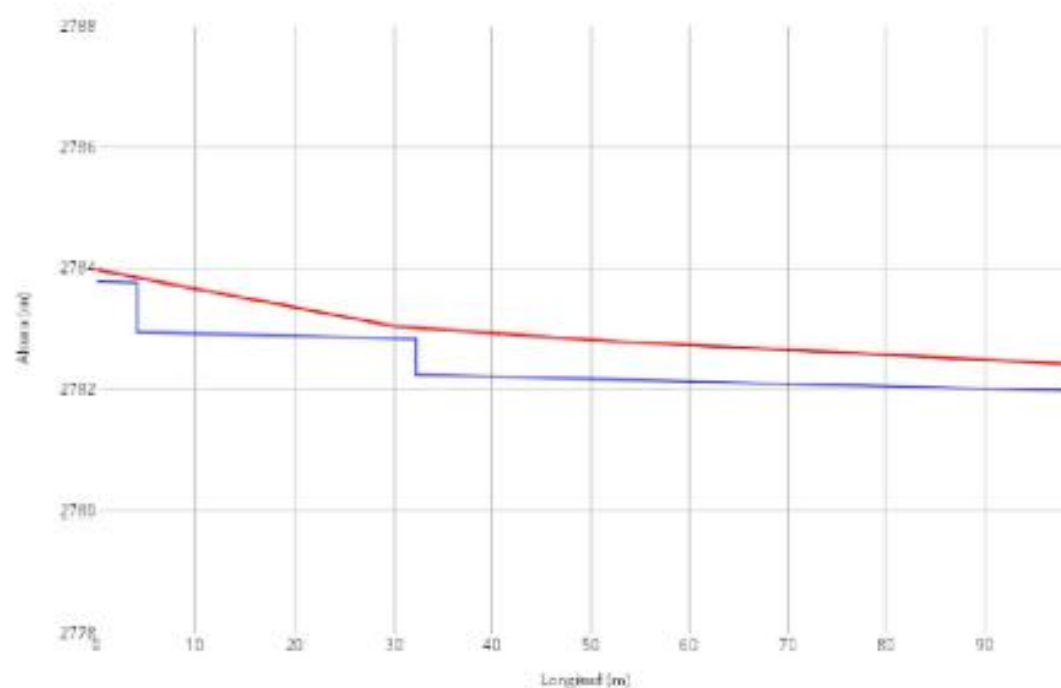
Perfil Transversal - 1



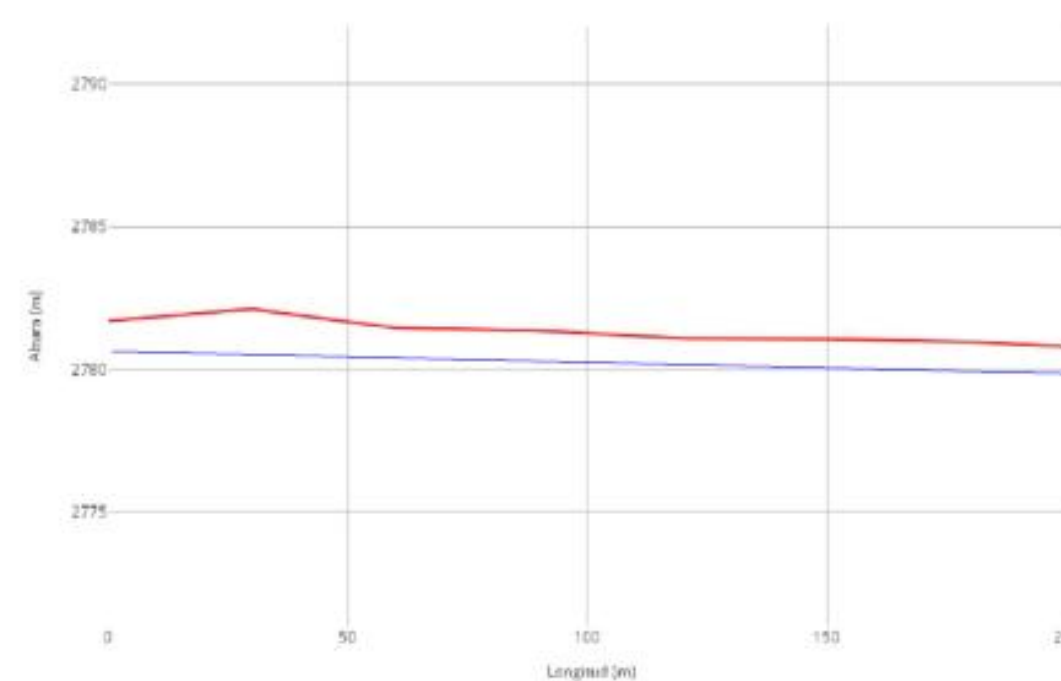
Perfil Transversal - 3



Perfil Transversal - 2



Perfil Transversal - 4



— Terreno — Conducciones

AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO *Pedro*

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA

ESCALA
N/A

FECHA
08/09/2025

Nº PLANO
2.2

TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO
ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ

RED DE SANEAMIENTO - PERFILES TRANSVERSALES 1 A 4



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

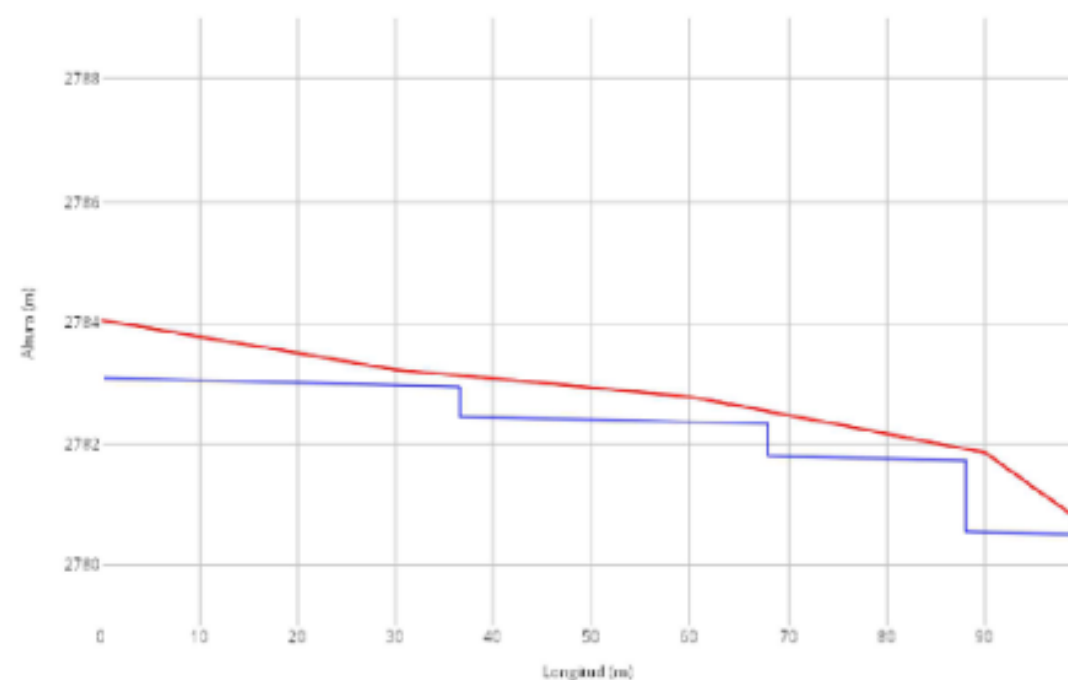


Fundación José
Entrecanales Ibarra

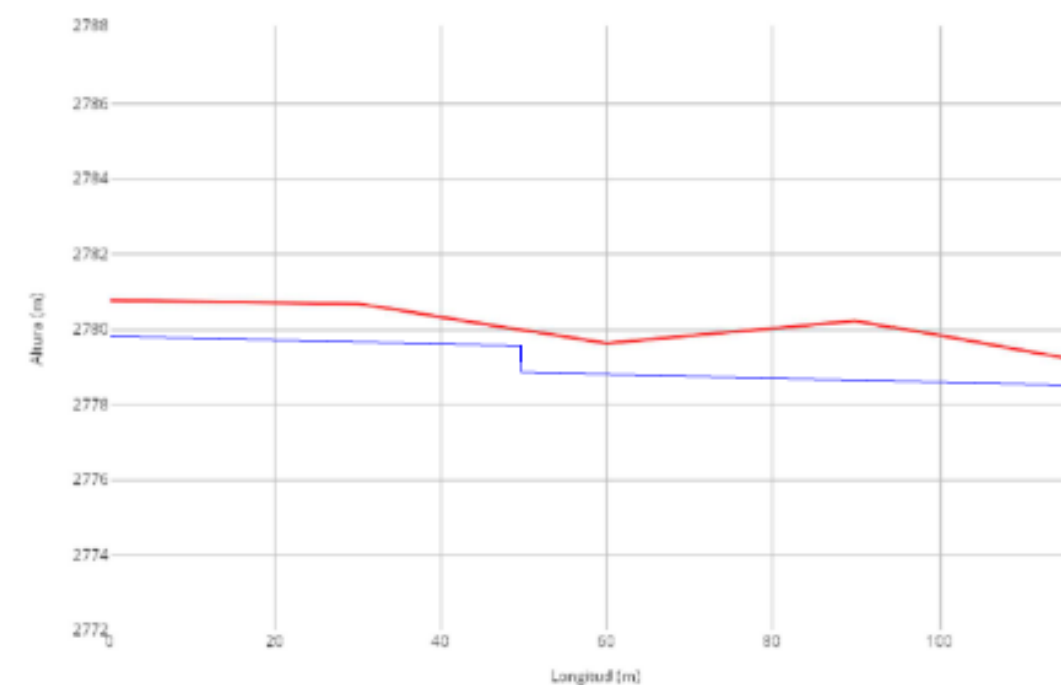


Ayuda
en Acción

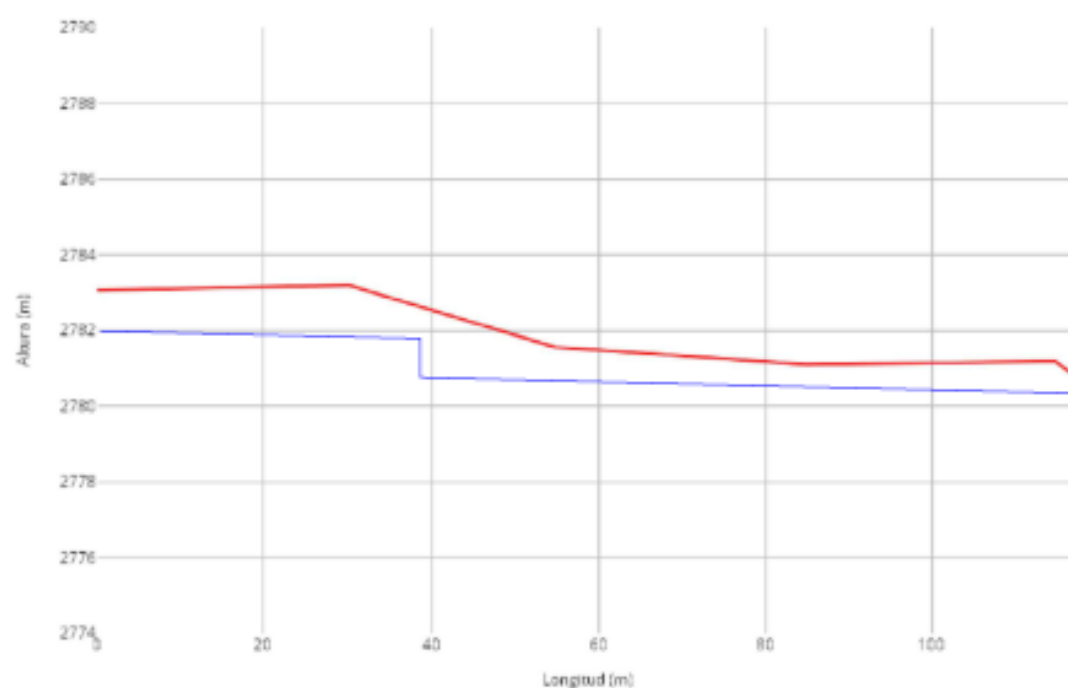
Perfil Transversal - 5



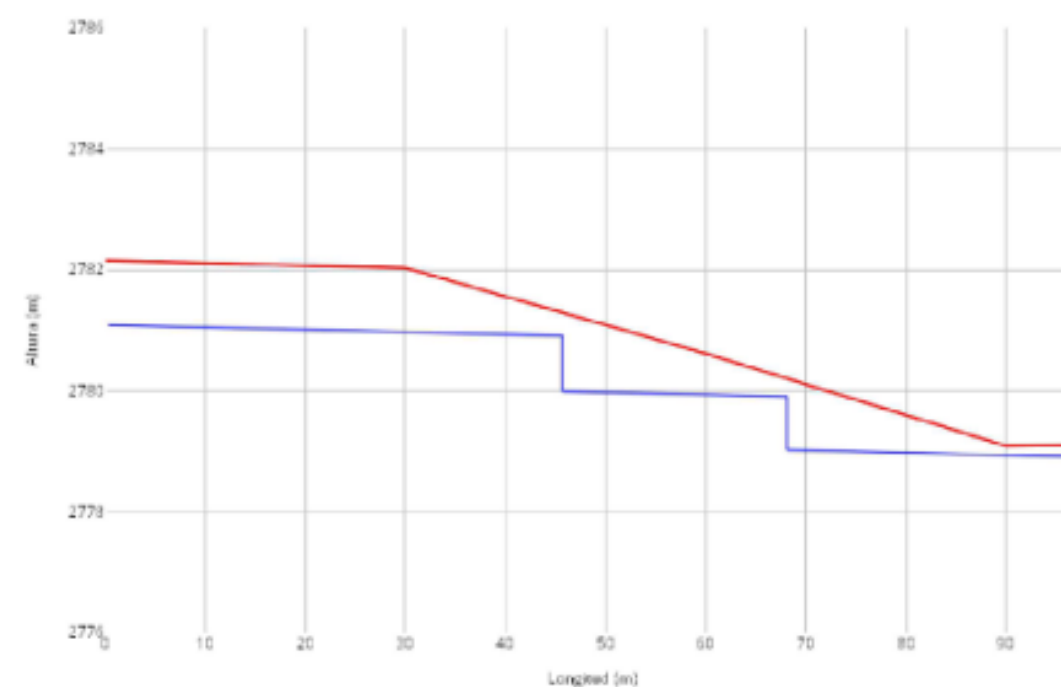
Perfil Transversal - 7



Perfil Transversal - 6



Perfil Transversal - 8



— Terreno — Conducciones

AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO *Pedro*

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA

ESCALA
N/A

FECHA
08/09/2025

Nº PLANO
2.3

TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO
ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ

RED DE SANEAMIENTO - PERFILES TRANSVERSALES 5 A 8



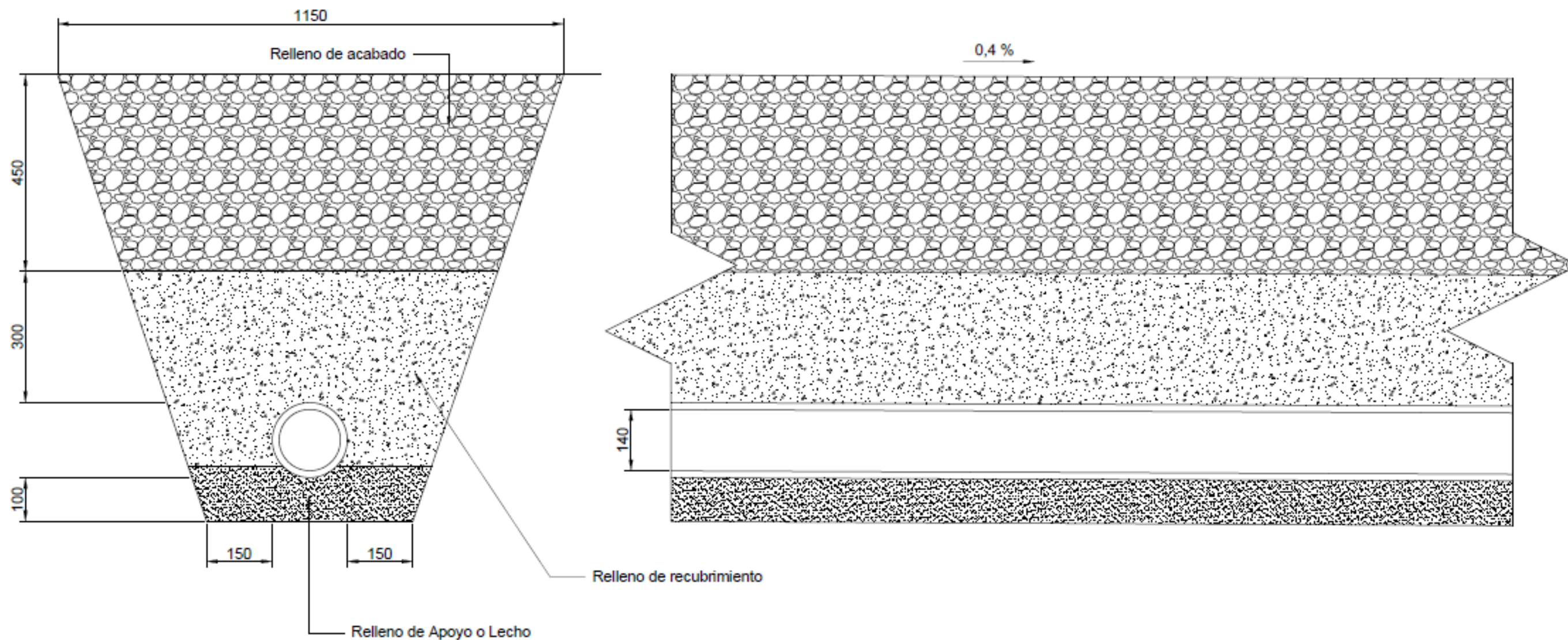
UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



Fundación José
Entrecanales Ibarra

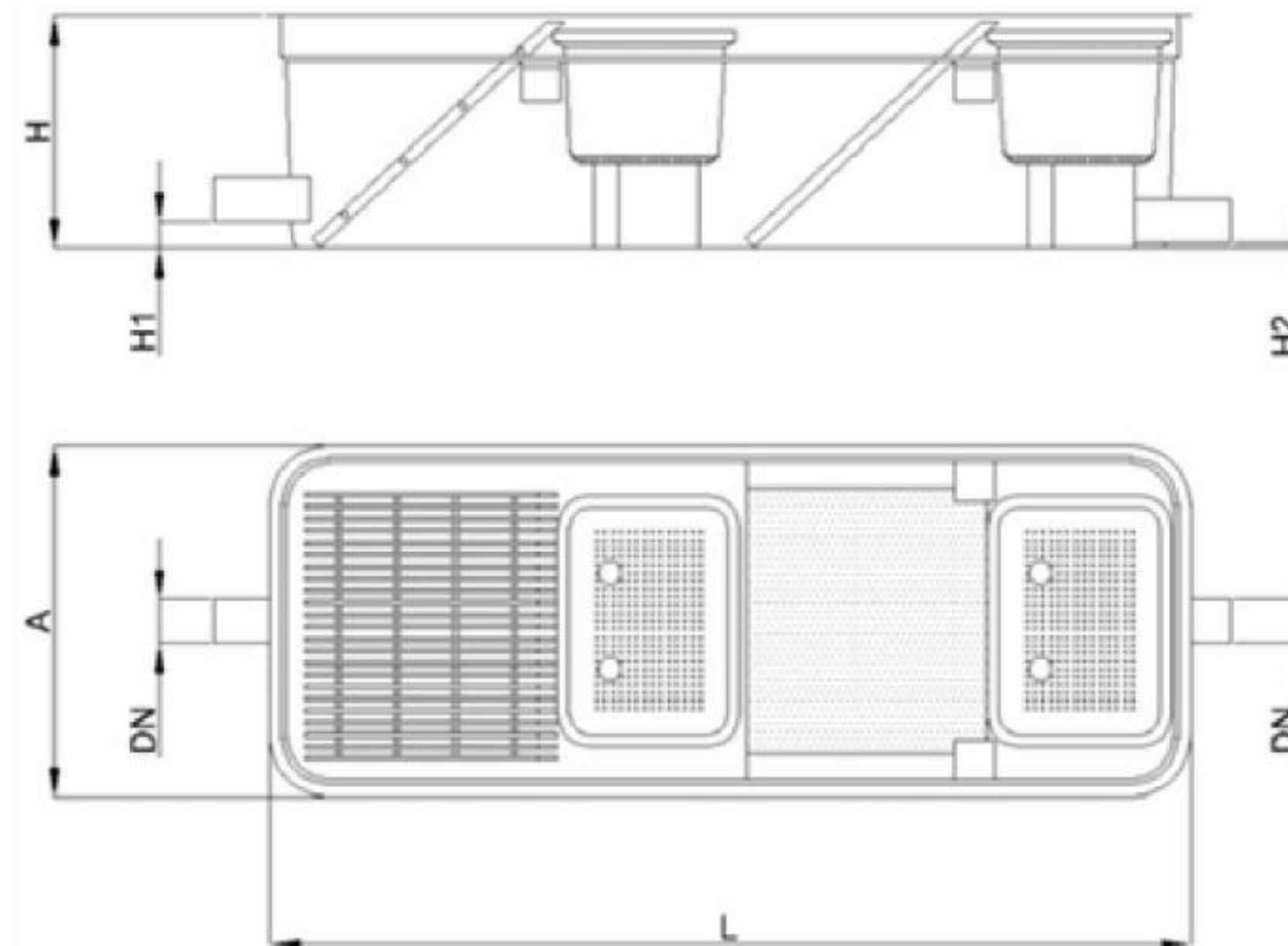


Ayuda
en Acción.



AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO <i>Pedro</i>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA	ESCALA 1 : 10	FECHA 08/09/2025	N° PLANO 3
TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ	ZANJA TIPO	  		

REJA DE DESBASTE DE GRUESOS Y FINOS

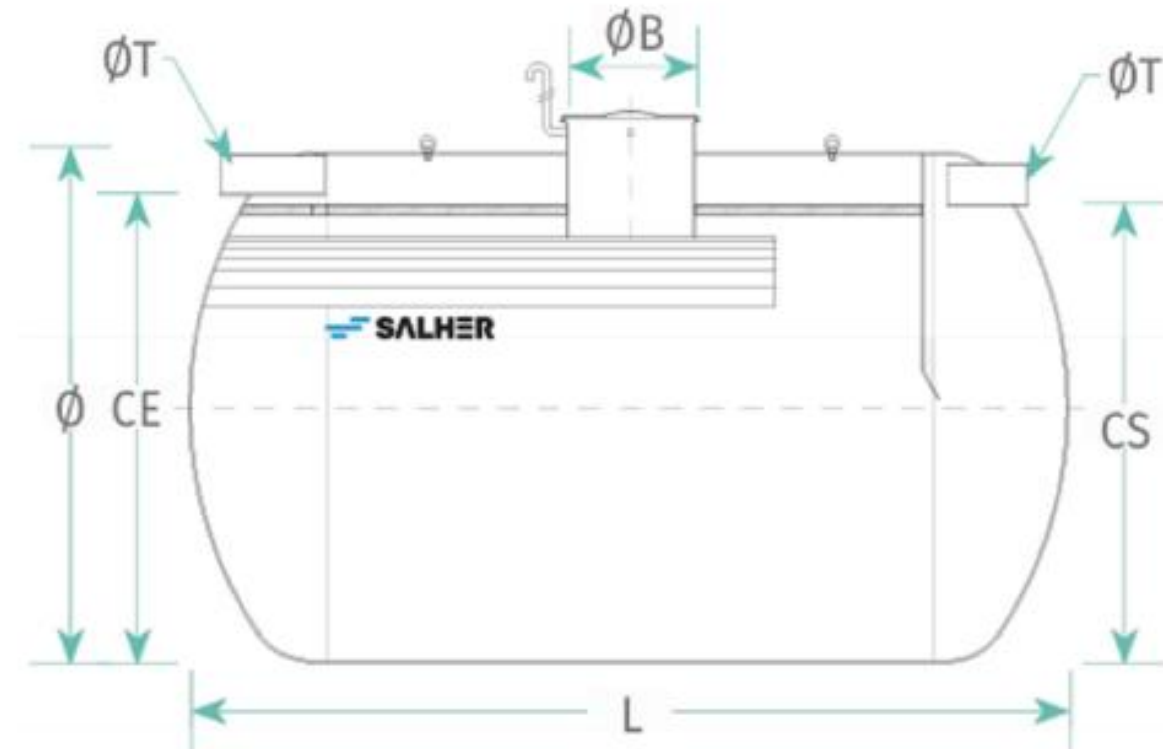
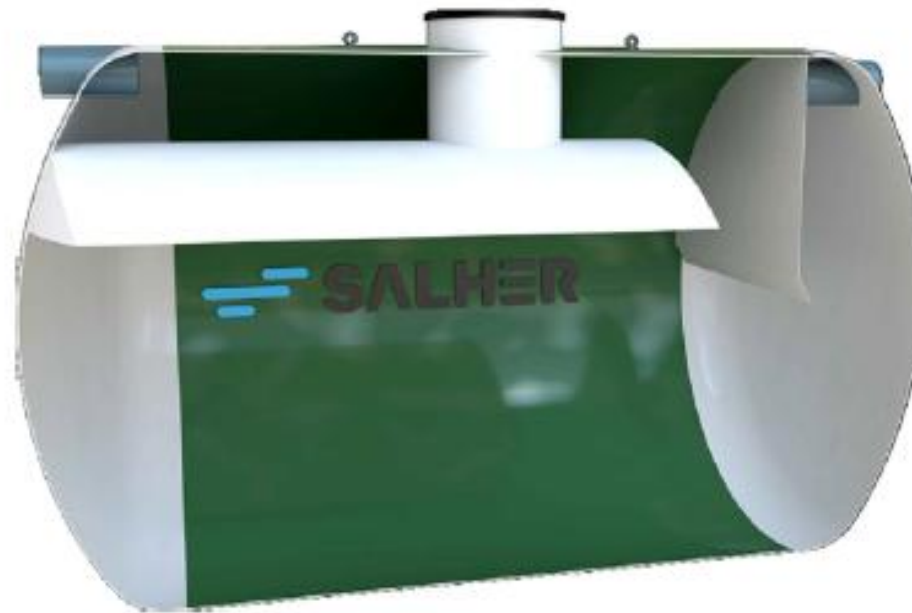


DN	L	A	H	H1	H2	Peso
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
110	2538	880	580	65	10	40

Esquema y dimensiones extraídos del catálogo de ACO REMOSA, proveedor de la solución de pretratamiento prefabricado

AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO <i>Pedro</i>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA	ESCALA N/A	FECHA 08/09/2025	Nº PLANO 4
TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ	PRETRATAMIENTO PREFABRICADO	  		

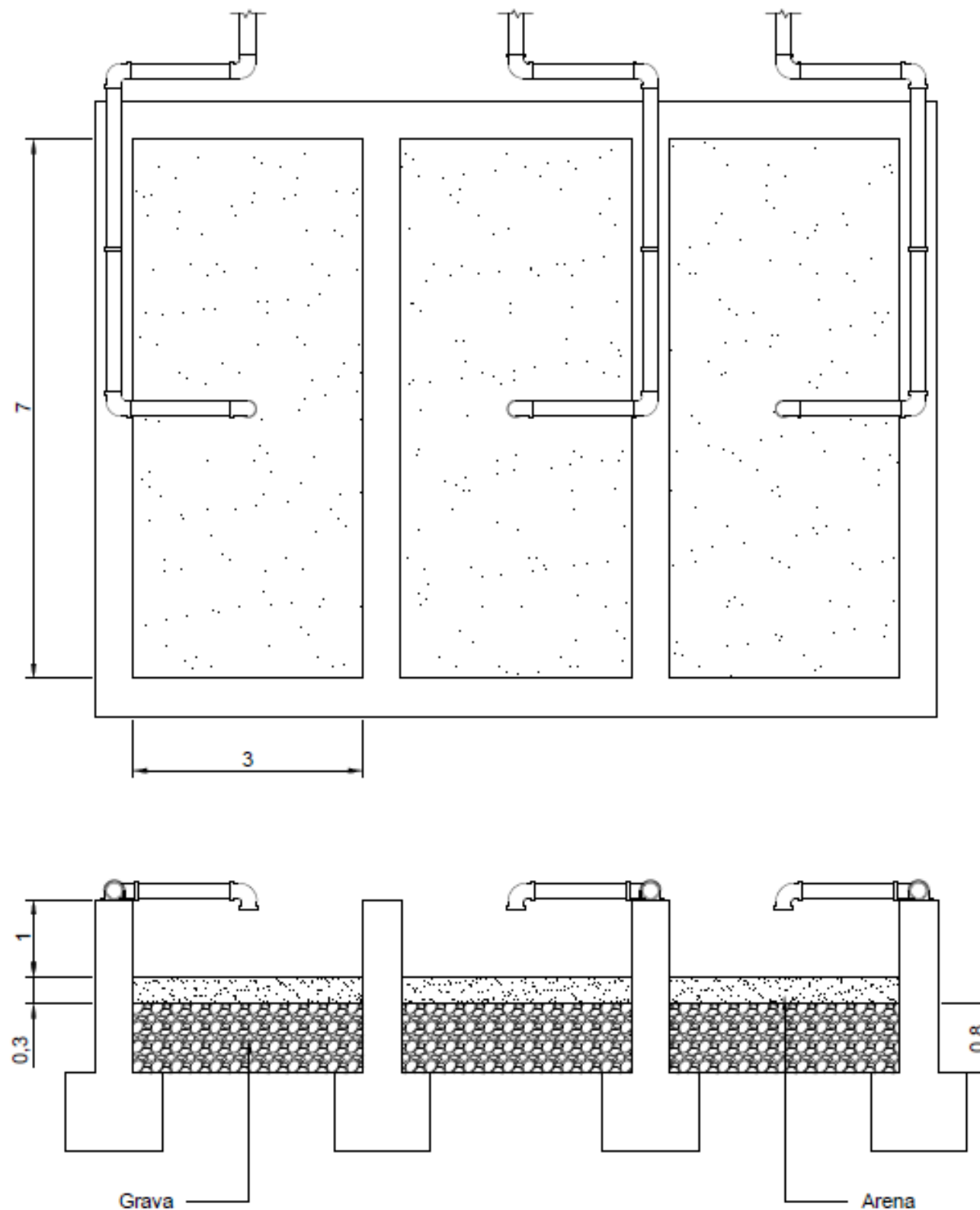
TANQUE IMHOFF PREFABRICADO



HAB/ EQV	CAPACIDAD [LITROS]	Ø [MM]	LONG. [MM]	Ø BOCA [MM]	Ø TUBERÍA [MM]	CE [MM]	CS [MM]
50	7.500	2.000	2.790	620	160	1.840	1.790

Esquemas y dimensiones extraídos del catálogo de SALHER, proveedor de la solución de tratamiento primario prefabricado

AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO <i>Pedro</i>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA	ESCALA N/A	FECHA 08/09/2025	Nº PLANO 5
TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ	TANQUE IMHOFF PREFABRICADO	  		



AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO *Pedro*

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA

ESCALA
1 : 75

FECHA
08/09/2025

Nº PLANO
6

TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO
ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ

ERAS DE SECADO DE LODOS

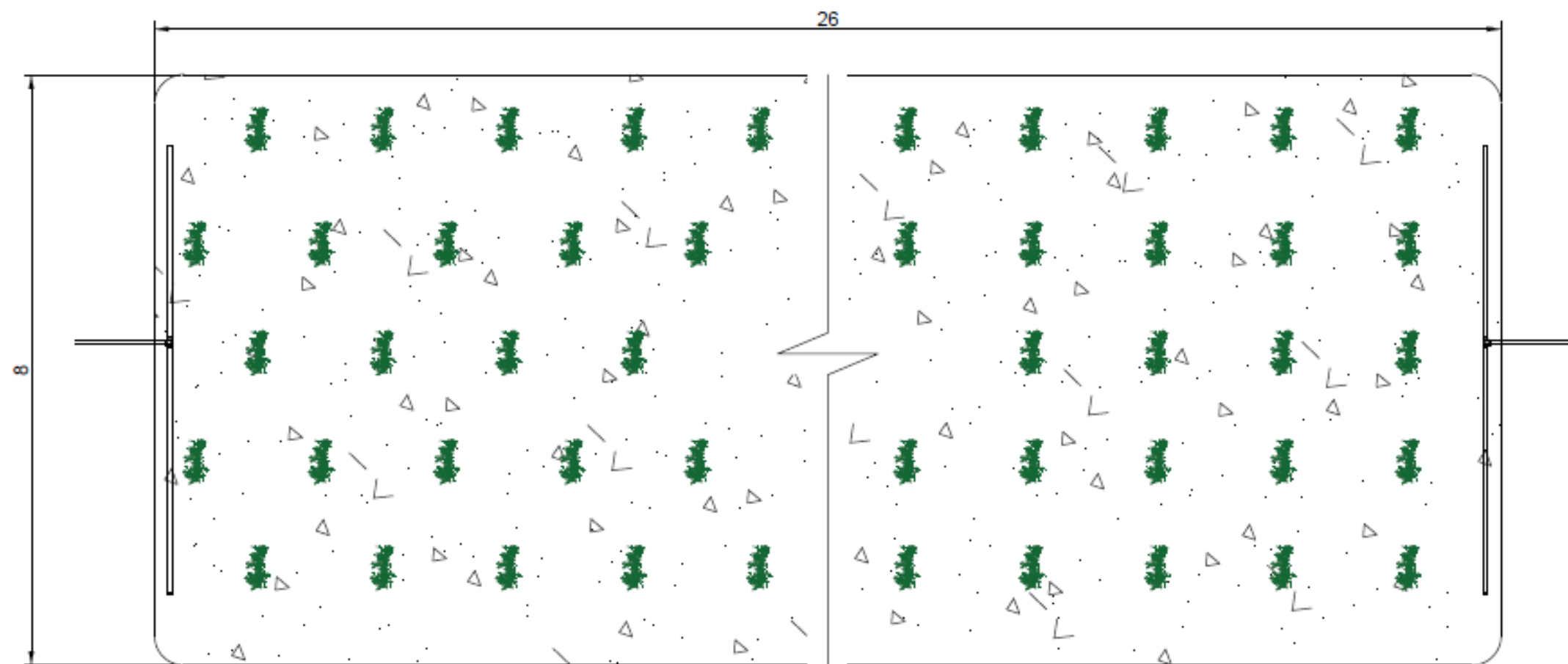
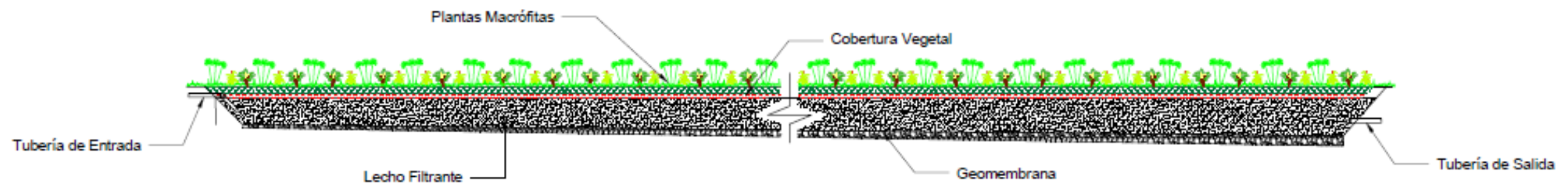


UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



Fundación José
Entrecanales Ibarra

Ayuda
en Acción.



AUTOR: PEDRO MICHELINI MUFATTO *Pedro*

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SANTA ISABEL, LA COCHA

ESCALA
1 : 75

FECHA
08/09/2025

Nº PLANO
7

TUTORAS: EVA MARÍA GARCÍA DEL TORO
ISABEL DEL CASTILLO GONZÁLEZ

HUMEDAL ARTIFICIAL



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



Fundación José
Entrecanales Ibarra

Ayuda
en Acción.

DOCUMENTO N°3: PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS

ÍNDICE

1.	Introducción	4
2.	Disposiciones Generales	4
2.1.	Responsabilidades de la Dirección Facultativa	4
2.2.	Responsabilidades del Contratista	5
2.3.	Contradicción de Documentos	5
2.4.	Libro de Órdenes	6
2.5.	Plazo de Garantía	6
2.6.	Tratamiento de No Conformidades	7
2.7.	Normativa de aplicación	8
3.	Materiales	10
3.1.	Materiales para relleno de zanjas y pozos	10
3.1.1.	Material procedente de la excavación.	10
3.1.2.	Material seleccionado procedente de la excavación.	10
3.1.3.	Material de préstamo o cantera.	10
3.1.4.	Material para apoyo de tuberías	10
3.2.	Material para ejecución del Humedal Artificial	11
3.2.1.	Capa protectora	11
3.2.2.	Geomembrana	12
3.2.3.	Sustrato filtrante	12
3.2.4.	Áridos gruesos de humedal	12
3.3.	Materiales para la fabricación de hormigones.	13
3.3.1.	Cementos para morteros y hormigones	16
3.3.2.	Agua para morteros y hormigones	18
3.3.3.	Áridos para morteros y hormigones	19
3.3.4.	Aceros para armaduras de hormigones	19

3.4.	Madera	20
3.5.	Tuberías de PVC	21
3.6.	Otros materiales	22
4.	Unidades de Obra	22
4.1.	Vallado Perimetral	22
4.2.	Desbroce del terreno	22
4.3.	Movimiento de tierras	23
4.3.1.	Excavación de tierra vegetal	23
4.3.2.	Excavaciones de desmonte	24
4.3.3.	Excavación de zanjas y pozos	25
4.3.4.	Carga y transporte a vertedero de productos procedentes de excavaciones y desbroces	26
4.3.5.	Rellenos de zanjas	26
4.3.6.	Terraplenes	27
4.4.	Instalación del Pretratamiento	28
4.5.	Instalación del Tanque Imhoff	29
4.6.	Ejecución del Humedal Artificial	30
4.6.1.	Impermeabilización	30
4.6.2.	Colocación de material granular	30
4.6.3.	Plantación de macrófitas	31
4.6.4.	Conducciones de entrada y salida	32
4.7.	Ejecución de la Red de Saneamiento	33
4.7.1.	Conducciones de PVC	33
4.7.2.	Pozos de Registro	34
4.8.	Ejecución de las Eras de Secado	35
4.9.	Unidades de Obra no especificadas o definidas	36
4.10.	Red telefónica provisional	36
5.	Disposición Final	37

1. Introducción

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas tiene como finalidad recopilar toda la información normativa y técnica que debe aplicarse durante la ejecución de la obra, con el propósito de establecer con claridad las condiciones que regirán su construcción, recepción, medición y abono. Este documento constituye el marco que define las condiciones generales y específicas bajo las cuales deberá desarrollarse la obra.

En su contenido, el pliego establece cuatro áreas fundamentales de control y exigencias técnicas:

- Disposiciones generales de aplicación a la obra
- Prescripciones de recepción de materiales
- Criterios de ejecución de unidades de obra.
- Normas de medición y forma de abono.

2. Disposiciones Generales

2.1. Responsabilidades de la Dirección Facultativa

Todas las prescripciones técnicas establecidas en el presente documento serán de estricto cumplimiento, debiendo existir un responsable encargado de verificar su correcta aplicación y ejecución integral. La dirección facultativa tendrá la responsabilidad de garantizar que todas las unidades de obra se desarrollen conforme a lo estipulado en este pliego. En caso de que se incumpla alguna de las especificaciones técnicas, ya sea en relación con los materiales utilizados, la ejecución de las unidades o los controles asociados, deberán adoptarse de inmediato las medidas necesarias para corregir la situación.

Cada equipo de trabajo deberá contar con una estructura organizativa clara y jerarquizada, que asegure una adecuada distribución de funciones, responsabilidades y autoridad. Dentro de cada equipo, existirá una persona responsable que supervisará las tareas asignadas a su grupo. Dado que podrán coexistir varios frentes de obra en ejecución simultánea, se conformarán distintos equipos de trabajo, todos ellos bajo la coordinación de un responsable general de la obra. Este asumirá la planificación global de la producción y la coordinación entre los distintos equipos.

Será responsabilidad del jefe de obra general establecer y comunicar la programación de los trabajos a los responsables de cada equipo, quienes a su vez deberán hacerlo con sus respectivos colaboradores. Esta estructura jerárquica deberá mantenerse operativa y respetarse durante todo el desarrollo de los trabajos.

La dirección facultativa estará compuesta por el responsable designado por el promotor y el máximo responsable técnico de la obra. Ambos serán los encargados de asegurar el correcto avance del proyecto, así como de atender y resolver cualquier incidencia que pudiera surgir durante su ejecución. En caso de que se detecte el incumplimiento de alguna de las prescripciones recogidas en el presente pliego, la dirección facultativa adoptará las decisiones necesarias para su corrección.

2.2. Responsabilidades del Contratista

El contratista tendrá la obligación de señalar correctamente las zonas de trabajo durante toda la ejecución de la obra, así como de mantener en condiciones de orden y limpieza los materiales, equipos y elementos utilizados. Igualmente, será responsable de garantizar las condiciones de seguridad necesarias para la protección de todo el personal involucrado en la obra.

Será responsabilidad exclusiva del contratista cualquier daño o perjuicio que derive de acciones incorrectas o negligentes por parte de su personal. Del mismo modo, deberá asumir las consecuencias de cualquier defecto de ejecución o fallo constructivo que se presente durante la obra o que se manifieste dentro del período de garantía.

2.3. Contradicción de Documentos

Cuando existan contradicciones, dudas o inconsistencias entre los distintos documentos que conforman este proyecto, se atenderá al siguiente orden de prioridad:

1. Presupuesto
 - I. Definiciones y descripciones de Precios Unitarios
 - II. Unidades del Presupuesto
 - III. Partidas de Medición
2. Planos

3. Pliego

4. Memoria y Anejos

Si se presentara alguna diferencia entre los valores de los cuadros de precios y los del presupuesto general, prevalecerán los precios contenidos en los cuadros.

Cualquier información contenida en el Pliego de Condiciones que no figure en los planos, o viceversa, se considerará igualmente válida y deberá ejecutarse como si estuviera presente en ambos documentos.

Toda corrección o modificación que afecte a los planos o a las especificaciones técnicas únicamente podrá ser realizada por la Dirección de Obra, siempre que lo considere necesario para una correcta interpretación o para garantizar el cumplimiento del proyecto.

2.4. Libro de Órdenes

Al inicio de los trabajos, el Director de Obra entregará al Contratista un Libro de Órdenes, el cual deberá permanecer en todo momento disponible en la obra y a disposición de la Dirección Facultativa.

En este libro se registrarán:

- Las incidencias que surjan durante la ejecución, así como las instrucciones emitidas por la Dirección Facultativa para garantizar la correcta interpretación del proyecto.
- Cualquier gestión administrativa relacionada con el desarrollo y cumplimiento del contrato.
- Las fechas de aprobación de muestras de materiales, así como de precios nuevos o contradictorios.
- Observaciones técnicas relativas a la calidad de los materiales empleados, estimaciones de precios, duración de los trabajos y personal asignado, entre otros aspectos.

Tanto la Dirección Facultativa como el Contratista deberán firmar al pie de cada anotación.

2.5. Plazo de Garantía

El período de garantía se fija en un plazo de un año. Durante ese tiempo, el Contratista será responsable del mantenimiento y

conservación de las obras, cumpliendo con las instrucciones que, a tal efecto, establezca la Dirección de Obra, con el fin de asegurar su buen estado.

2.6. Tratamiento de No Conformidades

Durante la ejecución de la obra, se entenderá por “no conformidad” cualquier desviación respecto a lo establecido en este Pliego de Prescripciones Técnicas, en los planos, en el presupuesto del proyecto o en la normativa técnica vigente, ya sea en lo relativo a la calidad de los materiales, a los procesos de ejecución, a las dimensiones, a las tolerancias o a los acabados previstos.

Toda no conformidad que se detecte deberá ser registrada, evaluada y tratada conforme a lo dispuesto en el sistema de control de calidad del proyecto. Esta gestión incluirá tanto las no conformidades detectadas por la Dirección Facultativa como aquellas advertidas por el propio contratista o por terceros intervinientes, tales como laboratorios o personal técnico de supervisión.

Una vez identificada una no conformidad, el contratista estará obligado a notificarla por escrito a la Dirección de Obra. La Dirección Facultativa evaluará entonces la naturaleza y gravedad del incumplimiento, y determinará si este puede aceptarse mediante justificación técnica, corregirse sin mayor repercusión o si, por el contrario, requiere la demolición y repetición total o parcial de la unidad de obra afectada.

Cuando proceda una medida correctiva, el contratista deberá proponer una solución técnica detallada, que será sometida a la aprobación de la Dirección de Obra antes de su ejecución. Ejecutada la corrección, se realizarán las verificaciones y ensayos necesarios para comprobar que las condiciones exigidas han sido plenamente restablecidas.

Todo el proceso de detección, análisis, decisión, corrección y validación deberá quedar debidamente documentado en el Libro de Órdenes.

La aceptación de una no conformidad no exime al contratista de su responsabilidad respecto a la calidad y durabilidad de la obra ejecutada, ni modifica en ningún caso las condiciones de garantía contractualmente establecidas. En caso de reiteración de no conformidades, o cuando estas revistan especial gravedad, la Dirección Facultativa podrá imponer penalizaciones, exigir la demolición inmediata de las unidades afectadas o

incluso proceder a la paralización temporal de los trabajos hasta que se restablezcan las condiciones exigidas por contrato.

2.7. Normativa de aplicación

El marco normativo del proyecto se compone de las siguientes disposiciones:

- Resolución 0330/2017: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
- Resolución 0799/2021: por la cual se modifica la Resolución 0330/2017
- Resolución CRA 1096/2000: Adopta el RAS
- Decreto 1745/2021: Reglamenta conexiones a sistemas de alcantarillado y tratamiento
- Decreto 1077/2015: expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio
- Decreto 1594/1984: Normas sobre uso del agua y vertimientos
- Decreto 3930/2010: Permisos de vertimiento y reúso del agua
- Resolución 1207/2014: Requisitos para el uso de aguas residuales tratadas
- Resolución 631/2015: Parámetros y valores límites de vertimientos puntuales
- Resolución 699/2021: Vertimientos al suelo: valores límites y condiciones
- Decreto 1287/2014: Uso y disposición de biosólidos generados en PTAR
- Ley 142/1994: Régimen de servicios públicos domiciliarios
- Resolución 3957/2009: Vertimientos a sistemas de alcantarillado
- Ley 99/1993: Crea el Ministerio de Ambiente y el SINA
- Decreto 1076/2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente
- Ley 23/1973: Normas sobre protección de los recursos naturales renovables
- Decreto 2820/2010: Reglamento de licencias ambientales
- Resolución 1401/2017: Procedimiento de licenciamiento ambiental para obras menores
- Ley 1562/2012: Sistema General de Riesgos Laborales
- Decreto 1072/2015: Reglamento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)
- Resolución 0312/2019: Estándares mínimos del SG-SST
- Decreto 1443/2014: Lineamientos para implementar el SG-SST

- Ley 9/1979: Código Sanitario Nacional (Título III – condiciones de trabajo)
- Ley 1252/2008: Manejo de residuos peligrosos
- Decreto 1077/2015: Reglamentación sobre residuos sólidos
- Resolución 472/2017: Clasificación de residuos de construcción y demolición (RCD)
- Resolución 2184/2019: Código de colores para separación de residuos en la fuente
- Ley 373/1997: Uso eficiente y ahorro del agua
- Decreto 2811/1974 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables): Define gestión de recursos hídricos y dominio público del agua
- Decreto 155/2004: Reglamenta tasas por uso del agua (Ley 99/1993)
- Resolución 1433/2004: Reglamenta Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV)
- Resolución 157/2004 (MAVDT): Protección y manejo de humedales, norma asociada al Convenio Ramsar
- Resolución 196/2006 (MAVDT): Línea técnica para planes de manejo de humedales
- Decreto 1468/2018: Reglamenta inclusión de humedales Ramsar en normativas ambientales
- Ley 52/1993: Convenio OIT 167 sobre seguridad en construcción
- Resolución 2413/1979: Reglamento de higiene y seguridad para obras civiles
- Guía SST excavaciones (Ministerio del Trabajo / ARL) – Buenas prácticas y normativa aplicable
- Decreto 1609/2002: Reglamenta aplicación del convenio OIT 167
- Ley 41/1993: Manejo de tierras, suelos y adecuación de zonas rurales
- Ley 1152/2007: Regulación del subsistema rural y adecuación de tierras
- Resolución 844/2018: Requisitos técnicos para proyectos rurales bajo esquemas diferenciales
- Decreto 1688/2020: Regula soluciones alternativas de saneamiento rural

Además, y dado el carácter académico de este proyecto y con el objetivo de garantizar un enfoque técnico riguroso, se han tomado como referencia técnica diversas normativas españolas. Estas normas han sido empleadas como guía metodológica y técnica para la redacción del pliego de

condiciones, la descripción de la ejecución de la obra y los anejos técnicos del proyecto.

Estas son:

- Código Estructural (RD 470/2021)
- Real Decreto 1627/1997
- Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales
- PG-3: Pliego General de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes del Estado

3. Materiales

3.1. Materiales para relleno de zanjas y pozos

3.1.1. Material procedente de la excavación.

Se definen como tales aquellos que sin ningún tipo de selección o clasificación reúnen las características necesarias para el relleno de zanjas, en aquellas capas especificadas en los Planos y/o Pliego de Prescripciones Técnicas. Estos materiales deberán reunir, como mínimo, las características correspondientes a los suelos adecuados.

3.1.2. Material seleccionado procedente de la excavación.

Son aquellos materiales procedentes de la excavación que tras ser sometidos a un proceso de selección reúnen las características necesarias para el relleno de zanjas, en aquellas capas especificadas en los Planos.

Estos materiales deberán reunir, como mínimo, las características correspondientes a los suelos adecuados.

3.1.3. Material de préstamo o cantera.

Se definen como tales aquellos materiales a emplear en el relleno de zanja que se obtengan de préstamos o canteras por rechazo o insuficiencia de los materiales procedentes de la excavación.

El material de préstamo deberá reunir, como mínimo, las características exigidas para el material seleccionado.

3.1.4. Material para apoyo de tuberías

Se define como material para apoyo de tubería el que se coloca entre el terreno natural del fondo de la zanja y la tubería o envolviendo a ésta hasta

"media caña". El material granular para apoyo de tuberías enterradas consistirá en un árido procedente de machaqueo, duro, limpio y químicamente estable. Su granulometría se ajustará a los usos y tamaños máximos de partícula señalados en el cuadro siguiente, en función de los distintos diámetros de las tuberías.

CLASIFICACIÓN

Diámetro nominal de tubería (mm.)	Tamaño máximo partícula (mm.)	Material granular a emplear
150	10-14	Árido de 10 ó 14 mm. o granulometría 14-5 mm.
200<D<500	20	Árido de 10, 14 ó 20 mm. o granulometría 14-5 ó 20-5 mm.
300<D<500	20	Árido de 14 ó 20 mm. o granulometría 14-5 ó 20-5
500<D	40	Árido de 14, 20 ó 40 mm. o granulometría 14-5, 20-5 ó 40-5 mm.

En condiciones de zanja por debajo del nivel freático, en suelos blandos o limosos, y a menos que se utilicen otros sistemas de prevención, la granulometría del material será elegida de forma que los finos de las paredes de la excavación no contaminen la zona de apoyo de la tubería.

El material granular para apoyo de tuberías no contendrá más de 0,3 por ciento de sulfatos, expresados como trióxido de azufre.

3.2. Material para ejecución del Humedal Artificial

3.2.1. Capa protectora

Se define como la capa de material procedente de la excavación a colocar bajo la geomembrana para garantizar su protección. Preferiblemente, este material corresponderá a la fracción más fina del material de excavación. No podrá ser yesoso ni plástico o expansivo y deberá separarse de él las raíces o residuos orgánicos y en general aquel material que, a juicio de la citada Dirección, no reúnan las características adecuadas.

En caso de no disponer de este material, también se puede considerar válido la extensión del material que se cataloga como seleccionado en el relleno de zanjas.

3.2.2. Geomembrana

Las geomembranas son barreras sintéticas fabricadas a partir de polímeros impermeables, y en este proyecto se emplearán para impedir filtraciones de agua residual desde los humedales artificiales.

Se utilizará específicamente una geomembrana de polietileno de alta densidad con:

- Espesor 1 mm
- Composición: aproximadamente un 97,5 % de polímero base y un 2,5 % de negro de carbono, antioxidantes y estabilizantes térmicos.
- Acabado uniforme en ambas caras y no contener defectos visibles tales como burbujas, rayaduras, inclusiones o cualquier otra irregularidad que comprometa su integridad o estanqueidad.

Las características que deben presentar el lecho de los humedales, previo esparcimiento y compactación de la arcilla, para su correcta impermeabilización

- Regular y uniforme: el material del soporte debe ser igual, con granulometría continua y con ausencia de tamaños grandes que pueden causar punzonamientos.
- Compacto: se consigue, llegando a la compactación enérgica al 95% Proctor Normal del suelo utilizado, tanto en el fondo del vaso como en los taludes.

En cuanto a su almacenamiento, este debe realizarse en lugares limpios, secos y sin objetos que pudieran cortar o dañar la membrana.

3.2.3. Sustrato filtrante

Este es el principal relleno del humedal.

Este debe permitir el paso de agua a su través. Por lo tanto, este debe ser un material con bajo contenido de finos (la Dirección de Obra deberá considerar el lavado de estos).

Para garantizar estas cualidades, la Dirección de Obra deberá realizar los ensayos que considere necesarios.

3.2.4. Áridos gruesos de humedal

Estos áridos gruesos se deben colocar en la zona inicial y final del humedal, para ayudar a contener al material del sustrato, a la vez que permite una fácil

entrada y salida de las aguas. Estos deben tener un tamaño de entre 50 y 100 mm (la Dirección juzgará su validez), es decir, serán gravas.

Se debe considerar el lavado para evitar la presencia de finos que pudieran contribuir a la colmatación del sistema. Además, se considerarán los ensayos necesarios para verificar sus propiedades mecánicas y físicas.

3.3. Materiales para la fabricación de hormigones.

Hormigones

Se definen como hormigones los productos formados por mezcla de cemento, agua, árido fino, árido grueso y eventualmente productos de adición, que al fraguar y endurecer adquieren resistencia.

En términos generales, se deberá cumplir con lo especificado en el artículo 33 del CE.

La composición elegida para la preparación de las mezclas destinadas a la construcción de estructuras o elementos estructurales deberá estudiarse previamente por la Dirección de Obra, con el fin de asegurarse de que es capaz de proporcionar hormigones cuyas características mecánicas, reológicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto.

En todos aquellos elementos que deben garantizar la estanqueidad y en general en los que estén en contacto con el agua residual, el hormigón a emplear tendrá una relación agua/cemento $< 0,5$, empleándose si fuera necesario aditivos para su manejabilidad. El curado será en ambiente húmedo al menos los siete primeros días, por lo que se deberán proteger las superficies con algún elemento que evite la evaporación del agua. La dosificación de cemento no será inferior a 325 kg/m³

La cantidad total de finos en el hormigón, resultante de sumar el contenido de partículas del árido grueso y del árido fino que pasan por el tamiz UNE 0,063 y la componente caliza, en su caso, del cemento, deberá ser inferior a 175 kg/m³. En el caso de emplearse agua reciclada, dicho límite podrá incrementarse hasta 185 kg/m³.

Fabricación y puesta en obra

La puesta en obra del hormigón no deberá iniciarse hasta que se haya estudiado y aprobado su correspondiente fórmula de trabajo; la cual será fijada por el Director

La consistencia de los hormigones frescos será la más seca compatible con los métodos de puesta en obra, compactación y acabado que se adopten.

Así, se medirá la consistencia de según Norma UNE 7103 y cuyos valores límites son:

Tipo de consistencia	Asentamiento en mm
Seca (S)	0-20
Plástica (P)	30-40
Blanda (B)	50-90
Fluida (F)	100-150
Líquida (L)	160-210

Si el Contratista no puede demostrar que con los materiales, dosificación y proceso de ejecución previstos es posible conseguir un hormigón que posea las condiciones exigidas, se realizarán los ensayos previos en laboratorio, consistentes en fabricar al menos cuatro series de amasadas de hormigón tomando tres probetas de cada serie. Se obtendrá el valor medio y deberá superar los siguientes valores:

Condiciones previstas para la ejecución de la obra	Valor aproximado de la resistencia media f_{cm} necesaria en laboratorio
Medias	$f_{cm} = 1,50 f_{ck} - 20 \text{ kp/cm}^2$
Buenas	$f_{cm} = 1,35 f_{ck} - 15 \text{ kp/cm}^2$
Muy buenas	$f_{cm} = 1,20 f_{ck} - 10 \text{ kp/cm}^2$

La instalación de hormigonado será capaz de realizar una mezcla regular e íntima de los componentes, proporcionando un hormigón de aspecto y consistencia uniformes, dentro de las tolerancias establecidas.

Es importante considerar que al dosificar la mezcla, será imprescindible tener en cuenta el agua que contenga el árido fino y, eventualmente, los demás áridos.

En la hormigonera deberá colocarse una placa, en la que se hagan constar la capacidad y la velocidad, en revoluciones por minuto, recomendadas por el fabricante; las cuales nunca deberán sobrepasarse. La hormigonera estará equipada siempre con un dispositivo que permita medir el agua de

amasadura con una exactitud superior al uno por ciento (1 %). Las paletas de la hormigonera deberán estar en contacto con las paredes de la cuba, sin dejar huelgo apreciable. Por ello, si se utilizan hormigoneras cuyas paletas no sean solidarias con la cuba, será necesario comprobar periódicamente el estado de esas paletas; y proceder a su sustitución cuando, por el uso, se hayan desgastado sensiblemente.

Salvo indicación en contrario del Director, se cargará primero la hormigonera con una parte no superior a la mitad del agua requerida. A continuación, se añadirán simultáneamente el árido fino y el cemento; posteriormente, el árido grueso; completándose la dosificación de agua en un período de tiempo que no deberá ser inferior a cinco segundos, ni superior a la tercera parte del período de amasado, contando a partir de la introducción del cemento y los áridos.

Antes de volver a cargar de nuevo la hormigonera se vaciará totalmente su contenido. No se permitirá volver a amasar, en ningún caso, hormigones que hayan fraguado parcialmente, aunque se añadan nuevas cantidades de cemento, áridos y agua.

Como norma general, no deberá transcurrir más de una hora entre la fabricación del hormigón y su puesta en obra y compactación.

No se permitirá el vertido libre del hormigón desde alturas superiores a un metro con cincuenta centímetros, quedando prohibido el arrojarlo con palas a gran distancia, distribuirlo con rastrillos, o hacerlo avanzar más de un metro (1 m) dentro de los encofrados. Se procurará siempre que la distribución del hormigón se realice en vertical, evitando proyectar el chorro de vertido sobre armaduras o encofrados.

La colocación del hormigón se regulará de modo que se produzcan superficies aproximadamente horizontales.

Al verter el hormigón, se removerá enérgica y eficazmente, para que las armaduras queden perfectamente envueltas; cuidando especialmente los sitios en que se reúna gran cantidad de ellas, y procurando que se mantengan los recubrimientos y separaciones de las armaduras.

La compactación del hormigón se ejecutará en general mediante vibración. El espesor de las tongadas de hormigón, la secuencia, distancia y forma de introducción y retirada de los vibradores, se fijarán por el Director a la vista del equipo previsto.

Si por alguna razón se averiase alguno de los vibradores, se reducirá el ritmo de hormigonado; si se averiasen todos, el Contratista procederá a una compactación por apisonado, en la zona indispensable para interrumpir el hormigonado en una junta adecuada. El hormigonado no se reanudará hasta que no se hayan reparado o sustituido los vibradores averiados.

Si se prevé la posibilidad de lluvia, el Contratista dispondrá toldos u otros medios que protejan el hormigón fresco. En otro caso, el hormigonado se suspenderá, como normal general, en caso de lluvia; adoptándose las medidas necesarias para impedir la entrada del agua a las masas de hormigón fresco. Eventualmente, la continuación de los trabajos, en la forma que se proponga, deberá ser aprobada por el Director.

En cuanto al curado del hormigón, deberá mantenerse la humedad y evitarse todas las causas externas, como sobrecargas o vibraciones, que puedan provocar la fisuración del elemento hormigonado. Una vez endurecido el hormigón, se mantendrán húmedas sus superficies mediante riego, durante el tiempo que fije el Director (en su caso, podrá sustituirse por impermeabilización de la superficie con recubrimientos plásticos).

Morteros

Se definen los morteros de cemento como la masa constituida por árido fino, cemento y agua. Eventualmente, puede contener algún producto de adición para mejorar alguna de sus propiedades, cuya utilización deberá haber sido previamente aprobada por el Director de las obras.

El cemento y la arena se mezclarán en seco hasta conseguir un producto homogéneo de color uniforme. A continuación se añadirá la cantidad de agua estrictamente necesaria para que, una vez batida la masa, tenga la consistencia adecuada para su aplicación en obra.

Solamente se fabricará el mortero preciso para uso inmediato, rechazándose todo aquel que haya empezado a fraguar y el que no haya sido empleado dentro de los cuarenta y cinco minutos que sigan a su amasadura.

3.3.1. Cementos para morteros y hormigones

Se deberá cumplir con lo especificado en el artículo 28 del CE (RD 470/2021).

Los cementos son conglomerantes que, amasados con agua, fraguan y endurecen, tanto expuestos al aire como sumergidos en agua, por ser los productos de su hidratación estables en tales condiciones.

Los utilizables según la normativa son los siguientes:

Tipo de hormigón	Tipo de cemento
Hormigón en masa	Cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T y CEM III/C Cementos para usos especiales ESP VI-1
Hormigón armado	Cementos comunes excepto los tipos CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM III/C y CEM V/B
Hormigón pretensado	Cementos comunes de los tipos CEM I y CEM II/A-D, CEM II/A-V, CEM II/A-P y CEM II/A-M(V,P)

Se utilizará CEM I.

Recepción y almacenamiento

La recepción y almacenamiento del cemento para hormigones se debe realizar conforme a la RC-08.

Considerando que el suministro se hará a sacos, para realizar la correcta recepción del cemento se deberá realizar, estrictamente:

- Control de la documentación, incluidos los distintivos de calidad, en su caso, y del etiquetado
- Control del suministro mediante inspección visual,
- En su caso, control mediante ensayos

Se debe asegurar que el cemento, una vez recibido, se transporta de forma que se garantice el mantenimiento de sus prestaciones hasta el momento de su llegada a la obra o instalación correspondiente.

Se exigirá que el almacenamiento, la carga y el transporte de cemento desde la fábrica se realice en medios adecuados que estén en buenas condiciones de estanquidad y limpieza, en particular de esta última cuando se cambie el tipo o clase de cemento a transportar, con objeto de evitar una posible alteración de sus prestaciones y de asegurar su buen estado en el momento de la recepción. Estas mismas precauciones deben tenerse en cuenta en caso de ser necesario el transporte interior del cemento en las propias instalaciones una vez aceptado el suministro.

Su almacenamiento deberá realizarse sobre palets, o plataforma similar, en una caseta cubierta, ventilada y protegida de las lluvias y de la exposición directa del sol. Se evitarán especialmente las ubicaciones en las que los envases puedan estar expuestos a la humedad, así como las manipulaciones durante su almacenamiento en las que puedan dañarse éstos o la calidad del cemento.

3.3.2. Agua para morteros y hormigones

Se deberá cumplir con lo especificado en el artículo 29 del Código Estructural.

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente perjudicial en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión.

En general, podrán ser utilizadas, tanto para el amasado como para el curado de morteros y hormigones, todas las aguas que la práctica haya sancionado como aceptables.

En los casos en que no se posean antecedentes de uso, deberán analizarse las aguas, y salvo justificación especial de que su empleo no altera de forma importante las propiedades de los morteros u hormigones con ellas fabricados, se rechazarán todas las que no cumplan las siguientes condiciones:

- $\text{pH} \geq 5$ (UNE 7234)
- Sustancias Disueltas ≤ 15 gramos por litro (UNE 7130)
- $\text{SO}_4 \leq 1$ gramo por litro (UNE 7131)
- Ión cloruro ≤ 3 gramos por litro (UNE 7178)
- Hidratos de Carbono = 0 (UNE 7132)
- Sustancias orgánicas solubles en éter ≤ 15 gramos por litro (UNE 7235)

Los ensayos para comprobar estas condiciones se realizarán según UNE 7236.

Se menciona que se permite el empleo de aguas recicladas procedentes del lavado de cubas en la propia central de hormigonado, siempre y cuando cumplan las especificaciones anteriormente definidas. Además, se deberá cumplir que el valor de densidad del agua reciclada no supere el valor 1,3 g/cm³ y que la densidad del agua total no supere el valor de 1,1 g/cm³.

3.3.3. Áridos para morteros y hormigones

Se cumplirá con lo establecido en el artículo 30 del CE.

Las características de los áridos deberán permitir alcanzar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón que con ellos se fabrica, así como cualquier otra exigencia que se requieran a éste.

El Tamaño Máximo del Árido se establece en 20 mm.

En general, cualquier otro tipo de árido cuya evidencia de buen comportamiento haya sido sancionado por la práctica y se justifique debidamente.

Dada su peligrosidad, sólo se permite el empleo de áridos con una proporción muy baja de sulfuros oxidables.

Se entiende por árido fino, o arena, el árido o fracción del mismo que pasa por el tamiz 5 UNE. Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas de yacimientos naturales, rocas machacadas, escorias siderúrgicas apropiadas u otros productos cuyo empleo esté debidamente justificado a juicio del Director de las obras.

Por el contrario, se entiende por árido grueso (grava) el que queda retenido por el tamiz 5 UNE.

3.3.4. Aceros para armaduras de hormigones

Se definen como armaduras a emplear en hormigón armado al conjunto de barras de acero que se colocan en el interior de la masa de hormigón para ayudar a éste a resistir los esfuerzos a que está sometido.

Los productos de acero a utilizar (según el artículo 34 y 35 del Código Estructural, el cual se debe cumplir) son barras rectas o rollos de acero corrugado soldable. Estos no presentarán defectos superficiales ni grietas. Se utilizarán redondos de 25 mm de diámetro para armaduras de tracción y 10 mm para el resto de armaduras. El tipo de acero a utilizar es el de denominación B 500 S.

El doblado se realizará, en general, en frío y a velocidad moderada, no admitiéndose ninguna excepción en el caso de aceros endurecidos por deformación en frío o sometidos a tratamientos térmicos especiales. Como norma general, deberá evitarse el doblado de barras a temperaturas inferiores a cinco grados centígrados.

La distancia horizontal libre entre dos barras consecutivas, salvo que estén en contacto, será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:

- 1 cm
- El diámetro de la mayor.
- Los seis quintos del tamaño tal que el ochenta y cinco por ciento del árido total sea inferior a ese tamaño.

La distancia vertical entre dos barras consecutivas, salvo que estén en contacto, será igual o superior al mayor de los dos valores siguientes:

- 1 cm
- Setenta y cinco centésimas del diámetro de la mayor.

La distancia libre entre cualquier punto de la superficie de una barra de armadura y el paramento más próximo de la pieza será igual o superior al diámetro de dicha barra.

Antes de comenzar las operaciones de hormigonado, el Contratista deberá obtener del Director la aprobación por escrito de las armaduras colocadas.

3.4. Madera

La madera para entibaciones, apeos, cimbras, andamios, encofrados, demás medios auxiliares y carpintería de armar, deberá cumplir las condiciones siguientes:

- Proceder de troncos sanos apeados en sazón.
- Haber sido desecada al aire, protegida del sol y de la lluvia, durante no menos de dos años.
- No presentar signo alguno de putrefacción, atronaduras, carcomas o ataque de hongos.
- Estar exenta de grietas, lupias y verrugas, manchas, o cualquier otro defecto que perjudique su solidez y resistencia. En particular, contendrá el menor número posible de nudos, los cuales, en todo caso, tendrán un espesor inferior a la séptima parte de la menor dimensión de la pieza.
- Tener sus fibras rectas y no reviradas o entrelazadas, y paralelas a la mayor dimensión de la pieza.
- Presentar anillos anuales de aproximada regularidad, sin excentricidad de corazón ni entrecorteza.
- Dar sonido claro por percusión.

3.5. Tuberías de PVC

El Contratista deberá presentar a la previa aprobación del Director de Obra los datos detallados de los tubos y juntas que pretenda emplear.

De manera orientativa, se establece el cumplimiento de UNE-EN 1610 “Instalación y pruebas de acometidas y redes de saneamiento”

Las tuberías de PVC se ajustarán a las condiciones recogidas en las siguientes normas:

- UNE 1401 Sistemas de canalización en materiales plásticos para saneamiento enterrados sin presión (PVC-U)
- UNE 53.331 Plásticos. Tuberías de PVC no plastificado y polietileno (PE) de alta y media densidad. Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas.

Las tuberías de PVC deben contar con el sello NTC 3722-3 para que sean aceptadas en obra.

Elementos especiales

Se entenderán por piezas especiales todos aquellos elementos de una conducción tales como codos, reducciones, tes, bridas ciegas y otros que se monten en la conducción sin ser tubos rectos normales.

Las curvas verticales u horizontales de gran radio podrán hacerse con tubos rectos, siempre y cuando el ángulo que formen los ejes de dos tubos consecutivos no sea superior a ocho grados centesimales. En este caso, la máxima abertura de la junta no será superior a un centímetro y medio en tubos de diámetro inferior a 700 mm, ni superior a dos cm en tubos de diámetro superior a 700 mm. Podrán admitirse ángulos y aberturas mayores siempre que el Contratista justifique debidamente que el tipo de juntas empleado admite tales variaciones sin pérdida de estanqueidad.

Todas las piezas especiales cumplirán las condiciones geométricas, mecánicas e hidráulicas que se prescriben para los tubos rectos.

La forma y dimensiones de las piezas especiales serán las que se marcan como normales y de uso corriente en los catálogos de casas especializadas en su construcción, adaptadas a las necesidades de la obra y de suficiente garantía a juicio del Director de Obra.

Se realizarán por parte del Contratista, todas las pruebas y ensayos de válvulas y piezas especiales. Todas deberán ser probadas en fábrica a la presión de prueba.

3.6. Otros materiales

Los materiales cuyas características no estén especificados en este Pliego ni en los demás documentos que definen las obras, cumplirán las prescripciones de los Pliegos, Instrucciones o Normas aprobados con carácter oficial en los casos en que dichos documentos sean aplicables. En todo caso se exigirán muestras, ensayos y certificados de garantía para su aprobación por la Dirección de Obra. La Dirección de Obra podrá rechazar dichos materiales si no reúnen, a su juicio, las condiciones exigibles para conseguir debidamente el objeto que motivará su empleo y sin que el Contratista tenga derecho, en tal caso, a reclamación alguna.

4. Unidades de Obra

4.1. Vallado Perimetral

Se define como vallado perimetral a la colocación de una valla perimetral que rodee la estación depuradora, incluyendo a todos sus elementos componentes.

La valla consistirá en una tela verde de altura igual a 2,10 m, se deberán considerar los accesos para los trabajadores y maquinaria a la obra.

La medición y abono incluirá todos los elementos expuestos y se realizará por metro lineal de valla periférica colocada.

4.2. Desbroce del terreno

Consiste en extraer y retirar de las zonas designadas todos los árboles, tocones, plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basura o cualquier otro material indeseable a juicio del Director de las obras.

Su ejecución incluye las operaciones siguientes:

- Remoción de los materiales objeto de desbroce.
 - Las operaciones de remoción se efectuarán con las precauciones necesarias para lograr unas condiciones de seguridad suficientes y evitar daños en las construcciones existentes, de acuerdo con lo que sobre el particular ordene el

Director, quien designará y marcará los elementos que haya que conservar intactos. Todas las oquedades causadas por la extracción de tocones y raíces se rellenarán con material análogo al suelo que ha quedado al descubierto al hacer el desbroce, y se compactarán hasta que la superficie se ajuste a la del terreno existente. Los trabajos se realizarán de forma que no produzcan molestias a los ocupantes de las zonas próximas a la obra.

- Retirada de los materiales objeto de desbroce.
 - Todos los subproductos forestales, no susceptibles de aprovechamiento, serán eliminados de acuerdo con lo que, sobre el particular, ordene el Director.
 - Los restantes materiales serán eliminados o utilizados por el Contratista, en la forma y en los lugares que señale el Director.

Su medición se realizará por metros cuadrados de área desbrozada y con espesor de 20 cm.

4.3. Movimiento de tierras

4.3.1. Excavación de tierra vegetal

Consiste en la excavación y apilado junto a la zona de obras de la capa o manto de terreno vegetal o de cultivo, que se encuentra en el área de construcción. Su ejecución incluye las operaciones siguientes:

- Excavación
- Descarga y apilado

Todo ello realizado conforme a las presentes especificaciones y a las instrucciones complementarias dadas por el Director de Obra.

El Contratista someterá a la aprobación del Director de Obra un plan de trabajo en el que figuren las zonas en que se va a extraer la tierra vegetal y las zonas elegidas para acopio o vertedero.

El acopio de la tierra vegetal se hará en lugares apropiados y de tal forma que no interfiera al tráfico ni a la ejecución de las obras o perturbe los desagües y drenajes provisionales o definitivos, y en lugares de fácil acceso, para su conservación y posterior transporte al lugar de empleo.

La tierra vegetal que no haya de utilizarse posteriormente o que fuese rechazada, se transportará a vertedero.

4.3.2. Excavaciones de desmonte

Dichas operaciones incluyen la remoción, extracción, depósito de los productos resultantes de la excavación en las proximidades de la zona de excavación, caso de ser susceptibles de utilización posterior, y transporte a vertedero de los excesos no utilizables.

Una vez terminadas las operaciones de desbroce del terreno y excavación de la tierra vegetal, en su caso, se iniciarán las obras de excavación, ajustándose a las alineaciones, pendientes y dimensiones de proyecto.

Durante la ejecución de los trabajos se tomarán las precauciones adecuadas para no disminuir la resistencia del terreno no excavado, así como mantener la explanación en perfectas condiciones de drenaje.

El Contratista está obligado a la retirada y transporte a vertedero del material que se obtenga de la excavación y que no esté prevista su utilización en rellenos u otros usos.

Los taludes de desmonte serán los que, según la naturaleza del terreno, permitan la excavación y posterior continuidad de las obras con la máxima facilidad para el trabajo, seguridad para el personal y evitación de daños a terceros, estando obligado el Contratista a adoptar todas las precauciones que correspondan en este sentido, aún cuando no fuese expresamente requerido para ello por la Dirección de Obra.

Si fuera precisa la utilización de explosivos el Contratista propondrá al Director de Obra el programa de ejecución de voladuras, justificado con los correspondientes ensayos, para su aprobación.

Las tolerancias en los trabajos de excavación serán las siguientes:

- En las explanaciones excavadas en roca se admitirá una diferencia máxima de veinticinco centímetros entre cotas extremas de la explanación resultante y en cuyo intervalo ha de estar comprendida la correspondiente cota del Proyecto o Replanteo. En las excavaciones en tierra la diferencia anterior será de diez centímetros (10 cm.). En cualquier caso, la superficie resultante debe ser tal que no haya posibilidades de formación de charcos de agua, debiendo, para evitarlo, el Contratista realizar a su costa el arreglo de la superficie, bien terminando la excavación correspondiente de manera que las aguas queden conducidas a la cuneta.

- En las superficies de los taludes de excavación se admitirán salientes de hasta diez centímetros y entrantes de hasta veinticinco, para las excavaciones en roca. Para las excavaciones realizadas en tierra se admitirá una tolerancia de diez centímetros en más o en menos.
- En las explanaciones excavadas para la implantación de caminos se tolerarán diferencias en cota de hasta diez centímetros en más y quince en menos para excavaciones realizadas en roca, y de cinco centímetros en más o menos para las realizadas en tierra, debiendo en ambos casos quedar la superficie perfectamente saneada.

Se medirá y abonará por m^3 que se medirán a partir de los perfiles del terreno previos a la obra y de los perfiles finales. Los excesos realizados en la excavación sin autorización de la Dirección de obra no serán abonados.

4.3.3. Excavación de zanjas y pozos

Consiste en el conjunto de operaciones necesarias para abrir zanjas para instalación de tuberías, canalizaciones y pozos para emplazamiento de obras de fábrica tales como pozos de registro, aliviaderos, etc.

Dichas operaciones incluyen la remoción, extracción y depósito de los productos resultantes de la excavación en las proximidades de la zona de excavación, caso de ser susceptibles de utilización posterior, o transporte a vertedero, en caso contrario.

El Contratista notificará a la Dirección de Obra, con la antelación suficiente, el comienzo de cualquier excavación en pozo o zanja, a fin de que ésta pueda efectuar las mediciones necesarias sobre el terreno.

También estará obligado el Contratista a efectuar la excavación de material inadecuado para la cimentación y su sustitución por material apropiado, y a la retirada y transporte a vertedero del material que se obtenga de la excavación y que no tiene prevista su utilización en otros usos.

El Contratista estará obligado a presentar a la Dirección de Obra para su aprobación, si procede, un proyecto de los sistemas de sostenimiento a utilizar en los diferentes tramos o partes de la obra, el cual deberá ir suscrito por un técnico especialista en la materia.

Las zanjas o pozos que tengan una profundidad menor o igual a un metro veinticinco centímetros podrán ser excavadas con taludes verticales y sin entibación.

Las prescripciones se definirán y/o modificarán, a juicio del Director de Obra, en los casos en que la estabilidad de las paredes de la excavación disminuya debido a causas tales como:

- Presencia de fisuras o planos de deslizamiento en el terreno.
- Planos de estratificación inclinados hacia el fondo de la zanja o pozo.
- Zonas insuficientemente compactadas.
- Presencia de agua.
- Capas de arena no drenadas.
- Vibraciones debidas a trabajos de compactación u otros.

Cuando aparezca agua en las zanjas o pozos que se están excavando, se utilizarán los medios e instalaciones auxiliares necesarios para agotarla. Los fondos de las excavaciones se limpiarán de todo material suelto o flojo y sus grietas y hendiduras se rellenarán adecuadamente. Asimismo, se eliminarán todas las rocas sueltas o desintegradas y los estratos excesivamente delgados.

Si el material excavado se apila junto a la zanja, el pie del talud estará separado un metro cincuenta centímetros del borde de la zanja si las paredes de ésta están sostenidas con entibaciones o tablestacas. Esta separación será igual a la altura de excavación en el caso de zanja sin entibación y paredes verticales.

La medición y abono se efectuará por metros cúbicos de material excavado.

4.3.4. Carga y transporte a vertedero de productos procedentes de excavaciones y desbroces

Las operaciones de carga, transporte y descarga a vertedero se realizarán con las precauciones precisas con el fin de evitar proyecciones, desprendimientos de polvo, barro, etc.

El Contratista tomará las medidas adecuadas para evitar que los vehículos que abandonen la zona de obras depositen restos de tierra, barro, etc, en las calles y carreteras adyacentes. En todo caso eliminarán estos depósitos.

4.3.5. Rellenos de zanjas

Estas unidades consisten en la extensión y compactación de suelos apropiados en las zanjas una vez instalada la tubería.

Se distinguirán en principio cuatro fases en el relleno:

- Relleno de apoyo o lecho: 10 cm inferiores medidos desde la generatriz inferior de la tubería y sobre el que apoyará la misma.
- Relleno de recubrimiento hasta 30 cm. por encima de la generatriz superior de la tubería.
- Relleno de acabado sobre el anterior hasta la cota de zanja en que se vaya a colocar el relleno de acabado, el firme o la tierra vegetal.

El relleno de apoyo o lecho se realizará con arena o grava fina, sin piedras grandes, raíces ni escombros.

El relleno de recubrimiento consistirá en material seleccionado, procedente de las excavaciones de la obra o de préstamos, carente de elementos de tamaño superior a dos centímetros.

El relleno de acabado se ejecutará, asimismo, con materiales adecuados, pero con un grado de compactación superior para evitar el deterioro de la superficie ante el paso eventual de cargas sobre ella.

El relleno de la zanja no comenzará hasta que las juntas de las tuberías y camas de asiento se encuentren en condiciones adecuadas para soportar las cargas y esfuerzos que se vayan a originar para su ejecución, y una vez se hayan finalizado satisfactoriamente las pruebas de estanqueidad.

Se prestará especial cuidado durante la compactación de los rellenos, de modo que no se produzcan ni movimientos ni daños en la tubería, a cuyo efecto se reducirá, si fuese necesario el espesor de las tongadas y la potencia de la maquinaria de compactación.

La medición y abono se realizará por metros cúbicos de material colocado y compactado.

4.3.6.Terraplenes

Esta unidad consiste en la extensión y compactación de suelos procedentes de las excavaciones, en zonas de extensión tal que permita la utilización de maquinaria de elevado rendimiento.

Su ejecución incluye las operaciones siguientes:

- Preparación de la superficie de asiento del terraplén.
- Extensión de una tongada.
- Humectación o desecación de una tongada.
- Compactación de una tongada.

Estas tres últimas, reiteradas cuantas veces sea preciso.

En los terraplenes se distinguirán tres zonas:

- **Cimiento:** Formado por aquella parte del terraplén que está por debajo de la superficie original del terreno y que ha sido vaciada durante el desbroce, o al hacer excavación adicional por presencia de material inadecuado.
- **Núcleo:** Parte del terraplén comprendida entre el cimiento y la coronación.
- **Coronación:** Formada por la parte superior del terraplén, con el espesor que figure en Proyecto.

Se considerará como coronación de terraplén el relleno sobre fondos de desmonte para la formación de la explanada.

El material de relleno procederá de la excavación, se extenderá en capas de 25 cm.

La medición y abono se realizará por metros cúbicos de terraplén compactado hasta alcanzar la cota necesaria de proyecto.

4.4. Instalación del Pretratamiento

Para la ejecución del pretratamiento se deberán realizar las excavaciones y rellenos necesarios de acuerdo con lo establecido en el apartado de rellenos de zanjas y pozos de este Pliego.

Se instalará la tecnología prefabricada por la empresa ACO REMOSA, que consiste en un canal dotado de reja de gruesos y finos. El modelo seleccionado es el RDGF 110.

Este canal tiene la función de realizar el desbaste de la materia sólida antes de la entrada al tanque Imhoff. Será un canal de sección rectangular con dos rejillas colocadas a una cierta distancia para la retención de gruesos y finos. La parte superior del canal estará abierta para poder realizar las correctas labores de limpieza y mantenimiento de las rejillas de gruesos y finos.

Las dimensiones de este son (Ver plano N°3):

- Longitud: 2538 mm
- Ancho: 880 mm
- Altura: 580
- Cota tubería de entrada: 65 mm

- Cota tubería de salida: 10 mm

Las rejillas se colocarán según la dirección y sentido del flujo del agua, en primer lugar, la rejilla de gruesos y a una cierta distancia la rejilla de finos. Quedará, por tanto, esta última rejilla más próxima al tanque Imhoff.

Durante la colocación de las rejillas se comprobará la ausencia de material procedente de la construcción que obstruya las rejillas.

Para su medición se realizará por unidades instaladas. Se abonará según el precio unitario establecido en el cuadro de precios.

4.5. Instalación del Tanque Imhoff

El tanque Imhoff es un tanque de aguas residuales cuyo fin es el de separar la carga contaminante del agua para que esta ingrese al humedal artificial (tratamiento secundario).

Se dispondrá enterrado cuya parte superior quedará descubierta y a ras de la superficie del terreno, pues se debe de garantizar la correcta expulsión del gas procedente de la zona de digestión de fangos.

El tanque está formado por dos zonas: una zona destinada a la decantación y otra a digestión de fangos.

La excavación se realizará según lo especificado en el apartado de movimiento de tierras.

Se instalarán dos tanques Imhoff prefabricados de la empresa SALHER, modelo CHC-IMH de 7500 L con el objetivo de mantener el sistema en operación cuando se realice el vaciado de uno cada seis meses.

Una vez instalado se procederá a la ejecución de una prueba de estanqueidad por llenado, con el fin de verificar la ausencia de fugas.

En caso de que se decida que el tanque disponga de cubierta parcial o total, esta se construirá preferiblemente mediante losa armada in situ o placas prefabricadas, ventilada mediante chimeneas pasivas y equipada con registros de acceso para mantenimiento. Se verificará que la losa ofrezca la resistencia adecuada al punzonamiento según su uso y tránsito previsto.

Se abonará por unidades según el cuadro de precios.

4.6. Ejecución del Humedal Artificial

4.6.1. Impermeabilización

Conjunto de trabajos necesarios con el fin de impermeabilizar los taludes y lechos de los humedales.

Se utilizará una lámina impermeable de PEAD de 1.0 mm de espesor cuya superficie inferior estará protegida por material procedente de la excavación. Preferiblemente, este material corresponderá a la fracción más fina del material de excavación. No podrá ser yesoso ni plástico o expansivo y deberá separarse de él las raíces o residuos orgánicos y en general aquel material que, a juicio de la citada Dirección, no reúnan las características adecuadas.

En taludes, la superficie se protegerá de igual manera con gravas de tamaño entre 50 y 100 mm (la Dirección juzgará su validez).

Las dimensiones óptimas de las geomembranas vienen determinadas por la forma y el tamaño de los humedales. Es por ello que, una vez construida la celda, los técnicos instaladores de las láminas deben acceder a la obra para tomar medidas.

La colocación de las geomembranas en la celda es una operación que requiere gran cuidado, evitando las arrugas de la lámina.

El anclaje de las geomembranas se realizará en la coronación del talud mediante una zanja periférica en la cual se fija la lámina. Dicha zanja será una excavación a un metro de la cresta del talud, con unas dimensiones mínimas de 0,3 x 0,3 m. En los sitios donde las tuberías penetran en las celdas se debe recortar la lámina; además, como las tuberías son de PVC, se debe aplicar sobre éstas una pieza especial (manguito) que se desliza alrededor de la tubería, se suelda a ésta, y después a la geomembrana.

Los materiales cumplirán las prescripciones establecidas en este Pliego.

La medición se realizará por metro cuadrado de impermeabilización real y completamente ejecutada.

4.6.2. Colocación de material granular

Conjunto de trabajos necesarios con el fin de disponer correctamente el sustrato necesario para el soporte de las macrófitas en los humedales y el material granular de gran tamaño para facilitar la entrada y salida de las aguas.

El relleno de la celda con el medio granular en los humedales de flujo horizontal se inicia con la colocación de la franja de material de mayor tamaño en el inicio y el final de la celda. A continuación, se procede a colocar el propio medio granular. Es muy importante comprobar que el material granular que se va a colocar está bien limpio y libre de finos. Se debe hacer un correcto control de calidad, de acuerdo al anejo correspondiente, y previo a su colocación la Dirección de Obra debe dar su visto bueno.

Durante la colocación del medio se debe evitar la entrada de maquinaria a las celdas; sin embargo, cuando no es posible verter el material desde fuera, la operación se debe realizar con maquinaria ligera que no produzca daños a la impermeabilización y que evite el hundimiento del fondo de las celdas. La maquinaria que entra en los lechos trabaja pasando siempre por encima del material de relleno. De esta manera la presión que ejerce la maquinaria sobre el fondo del lecho, es decir sobre la lámina impermeabilizante, llega bastante repartida y no la puede dañar.

La medición se realizará por metros cúbicos de material realmente colocados.

4.6.3. Plantación de macrófitas

Esta partida define el conjunto de trabajos necesarios para plantar las macrófitas en el humedal.

Las especies que son adecuadas para su implantación son variadas. Se exponen las posibles con sus ventajas y se deja a criterio del Director su elección:

- *Typha domingensis*: Similar a especies nativas de la región, fácil de conseguir en viveros regionales
- *Cyperus articulatus*: especie nativa colombiana. Se adapta bien a climas fríos-moderados.
- *Cyperus dubius* / *grandis*: evaluada positivamente en estudios tropicales similares, con buen desempeño en eliminación de nitrógeno

La plantación de la vegetación es la última etapa en la construcción de un sistema de humedales artificiales.

Esta actividad se realiza una vez el material granular ha sido colocado y nivelado, se han conectado todas las conducciones, y se han llevado a cabo las comprobaciones hidráulicas. Cuando se realiza la plantación la celda ya debe tener agua.

Las plántulas se insertan en pequeños agujeros efectuados manualmente en el medio granular que después se tapan. Una parte de la biomasa subterránea de las plantas debe estar sumergida en el agua. La plantación se puede efectuar al tresbolillo con una densidad de 4 a 6 plantas por metro cuadrado.

Inicialmente, es conveniente que el nivel de agua aflore en la superficie de los humedales unos centímetros para evitar el crecimiento de malas hierbas. No obstante, esto puede provocar malos olores y presencia de insectos con lo que es probable que se tenga que disminuir el nivel. Se puede entonces intentar alternar periodos de encharcamiento y otros de nivel normal. Durante los periodos de nivel normal, el nivel se irá bajando paulatinamente para favorecer un más rápido desarrollo de la zona radicular de las plantas durante el primer ciclo de su crecimiento, recuperándose al final de este proceso el nivel normal (5 cm de profundidad).

Si después de un año la vegetación no se llega a consolidar, se debe proceder a su reposición. De hecho, se considerará que la vegetación se ha consolidado cuando se ha completado un ciclo biológico completo (crecimiento, floración, producción de semillas y senescencia de las partes aéreas).

4.6.4. Conducciones de entrada y salida

Se define como tuberías de entrada a las conducciones de PVC que conducen hacia los humedales y la reparten adecuadamente en ellos.

Las conducciones de salida corresponden al sistema de recogida de las aguas tratadas para proceder a su vertido.

En la zona del interior de los humedales artificiales, donde deben realizar el reparto del agua, se realizarán cortes a media caña de 10 cm de largo cada metro. La función de estos cortes será permitir el vertido en los humedales del agua residual a tratar.

Los cortes deberán ser homogéneos y completamente iguales para garantizar que en cada abertura se vierta el mismo caudal. Se realizará utilizando una sierra.

Por lo demás, la conducción cumplirá las especificaciones establecidas en este Pliego y en los planos.

Las conducciones se medirán por metros de longitud de su generatriz inferior realmente colocados.

4.7. Ejecución de la Red de Saneamiento

4.7.1. Conducciones de PVC

En este capítulo se incluyen las tuberías de PVC corrugado de la empresa GERFOR SAS de diámetro nominal de 160 mm, lo que resulta en un diámetro interior de 144 mm.

Se debe comprobar al realizar la recepción que estas cuenten con el sello de calidad NTC 3722-3.

Se inspeccionarán los tubos y sus accesorios antes de bajar a la zanja. En el caso de comprobar la existencia de defectos, los tubos que los presenten serán rechazados. Los materiales acumulados en el interior serán retirados antes de su colocación en la zanja.

Las zanjas en las que se instalarán las tuberías de la red de saneamiento deben tener una pendiente de 0,4 % para garantizar el cumplimiento de las velocidades del fluido dentro la tubería, establecidos por la normativa. Se comprobará la existencia de esta pendiente en tramos de 100 m.

Los tubos se bajarán con precaución mediante correas o eslingas al fondo de la zanja empleando grúas ligeras montadas sobre camiones.

En cualquier caso, los extremos del tubo no deben ser dañados como consecuencia del uso de ganchos u otros elementos de protección inadecuados.

Una vez el tubo en el fondo de la zanja, se examinará de nuevo para cerciorarse de que está limpio y no presenta daños.

Posteriormente debe ser calzado y acodalado con material de relleno para impedir movimientos. Los elementos de protección de las juntas de las tuberías y complementos no serán retirados hasta que hayan completado las operaciones de unión. Se comprobará muy especialmente, el perfecto estado de la superficie de las juntas y que estén limpias y libres de elementos extraños.

Generalmente no se colocarán más de cien metros de tubería sin proceder al relleno, al menos parcial de la zanja, para protegerlos, en lo posible, de las variaciones de temperatura, radiaciones solares, y evitar la posible flotación

de la tubería en caso de inundación de la zanja. Siempre que sea posible y para evitar la flotación, la zanja tendrá el oportuno desguace.

Cada vez que se interrumpa la colocación de la tubería se taponarán los extremos libres y las partes correspondientes a las juntas se mantendrán limpias y protegidas.

Para obtener cambios de alineación en planta se colocarán las oportunas piezas especiales, en los tubos dispuestos todos ellos con unión flexible de enchufe y extremo liso con anillo elastomérico.

Los tubos no deben apoyarse directamente sobre la rasante de la zanja, sino sobre una cama de material granular (lecho de arena), de 0.10 m bajo la generatriz inferior del tubo. La geometría de relleno de la zanja se aprecia en los planos.

Se efectuarán las pruebas de estanqueidad. En esta prueba, en cada tramo la prueba de estanqueidad se realizará una vez instalada la tubería y construidas las arquetas, pero antes del relleno de la zanja. Para realizar la prueba se obturan la arqueta de aguas arriba y cualquier otro punto por el que se pueda salir el agua. Se llena de agua la tubería y el pozo de aguas arriba del tramo a probar. Transcurridos treinta minutos se inspeccionan los tubos, las juntas y las arquetas, Comprobándose que no ha habido pérdidas de agua.

Las conducciones de PVC se medirán por metros lineales de tubería realmente colocados. A dicha medición se le aplicará el precio unitario correspondiente.

4.7.2. Pozos de Registro

En esta unidad de obra quedan incluidos los materiales y operaciones necesarias para la realización de las cajas de registro, incluidas la solera, las paredes y la tapa y marco de la misma y el relleno.

La excavación se considera incluida en la excavación de las propias zanjas.

La solera será de hormigón en masa establecido en este Pliego y tendrá una dimensión en planta de 40x40 cm. La ejecución de la solera se hará sin la presencia de agua freática o de lluvia, permitiéndose el hormigonado de la misma contra el terreno, previo repaso y saneado de las paredes. Las paredes de las arquetas son de bloques de hormigón de las dimensiones especificadas en los planos. Se aplicará mortero en los acabados de las

paredes interiores y las zonas superiores de 0.05 m de espesor. Los bloques se colocarán apoyados sobre su superficie de mayor dimensión de forma que los agujeros queden mirando hacia arriba.

Las conexiones de los tubos se realizarán en las cotas debidas de manera que, los extremos de los conductos coincidan al ras de las caras laterales de las arquetas.

Las tapas o rejillas ajustaran al cuerpo de la obra, y se colocaran de forma que su cara exterior quede al mismo nivel que las superficies adyacentes.

En el caso que el Director de las Obras lo considere necesario se realizará una prueba de estanqueidad.

El relleno del trasdós de la fábrica se ejecutara, en general, con material procedente de la excavación.

Se debe instalar un pozo de registro en los encuentros/conexiones de los distintos tramos que componen la red y cada 50 m de tubería.

La medición y abono de esta unidad se realizará por unidades completamente ejecutadas.

4.8. Ejecución de las Eras de Secado

Estos sistemas de deshidratación de lodos están conformados por un lecho relleno de material filtrante, en cuya superficie se deposita el lodo, produciéndose su secado por el drenaje del agua a través de la propia masa del lodo y del medio filtrante y por la evaporación del agua a través de toda superficie del lodo expuesta al aire.

Se ejecutarán en hormigón armado de características especificadas anteriormente, tres celdas de 3 metros de ancho por 7 metros de largo.

Se rellenarán con una capa inferior de 80 cm de grava y una capa superior de 30 cm de arena (características anteriormente definidas) para asegurar el correcto drenaje del agua.

Se debe reponer la capa de arena que quede adherida a los fangos que se extraen cada cierto tiempo a determinar por la Dirección de Obra.

Las paredes laterales de hormigón deben sobresalir 1 metro por encima de la capa de arena.

En esta unidad se tiene en cuenta únicamente la ejecución de los elementos de hormigón, pues los rellenos ya han sido contemplados anteriormente. La medición y abono se realizará en metros cúbicos de hormigón realmente colocado.

4.9. Unidades de Obra no especificadas o definidas

Cualquier trabajo que, sin contradecir el enfoque general del Proyecto ni las disposiciones especiales que se dicten al respecto por la Dirección de Obra o autoridad competente, deba ejecutarse, será obligación del Contratista realizarlo, incluso si no está expresamente indicado en este Pliego de Prescripciones.

La ejecución de todas las obras deberá ajustarse en todo momento a los principios de la buena práctica constructiva y utilizar materiales de alta calidad, respetando las especificaciones establecidas en este Pliego. En los casos en que no se indiquen de forma precisa las características de los materiales o los métodos de ejecución, se aplicarán las normas tradicionalmente aceptadas como buenas prácticas en la construcción.

El Contratista deberá atenerse a lo dispuesto en la Normativa Vigente en torno a la Contratación Ejecución de las Obras Públicas del Estado con rango Jurídico Superior.

4.10. Red telefónica provisional

Se debe instalar una red telefónica provisional para que la comunicación sea posible durante el tiempo de ejecución de las obras.

Su medición y abono se realizará por unidades instaladas operativas.

5. Disposición Final

Todo aquello que no se encuentre específicamente mencionado en este Pliego de Prescripciones, el Contratista deberá atenerse a lo dispuesto en el marco normativo mencionado en este mismo Pliego.

Madrid, septiembre de 2025

El autor del proyecto



Fdo. Pedro Michelini Mufatto

DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Metodología	3
3. Mediciones	4
4. Cuadro de Precios	5
5. Presupuesto de Ejecución Material	7
6. Presupuesto Base de Licitación	11
7. Disposición final	11

1. Introducción

El presupuesto, el documento final del proyecto y que prevalece sobre todos los otros en caso de contradicciones, reúne los gastos a considerar para la correcta ejecución de la planta de tratamiento y la red de saneamiento en la Vereda Santa Isabel.

2. Metodología

El documento se desarrolla de esta manera:

Se comienza por las mediciones de las diferentes unidades de obra, se ha decidido agrupar estas mediciones, agrupándolas en 4 capítulos.

Una vez obtenidas y explicadas las mediciones se expone el cuadro de precios. En él se explica el precio unitario para cada medición en cada unidad de obra.

Luego, realizando las multiplicaciones pertinentes, se obtiene el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), sumando los gastos indirectos.

Por último, se añaden los siguientes conceptos al PEM:

- Gastos generales: 13%
- Beneficio Industrial: 6%
- IVA en Colombia para obras de construcción: 19%

3. Mediciones

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	PARCIALES	CANTIDAD
	CAPÍTULO 01. PREPARACIÓN DE LA OBRA			
01.01	VALLADO PERIMETRAL			
	INSTALACIÓN PERIMETRAL DE CERCA EN TELA VERDE H = 2,10 M	ML		150.00
01.02	DESBROCE			
	DESBROCE MANUAL Y RETIRO DE ESPESOR E = 0,20M	M2		1,250.00
01.03	RED TELEFÓNICA PROVISIONAL			
	INSTALACIÓN RED TELEFÓNICA PROVISIONAL EN OBRA	UDS		1.00
01.04	RETIRO SOBRANTES			
	RETIRO Y TRANSPORTE DE SOBRANTES A UNA DISTANCIA <= A 5KM	M3		250.00
	CAPITULO 02. MOVIMIENTOS DE TIERRA			
02.01	EXCAVACIÓN EN TERRENO			
	EXCAVACIONES VARIAS A MÁQUINA SIN CLASIFICAR (INCLUYE RETIRO DE SOBRANTES A UNA DISTANCIA <= A 5KM)	M3		124.92
02.02	EXCAVACIÓN DE ZANJAS			
	EXCAVACIÓN MANUAL DE ZANJAS CON ALTURA <= 1M	M3		850.61
02.03	RELLENO DE ZANJAS. LECHO			
	RELLENO DE LAS ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO. LECHO O CAMA	M3		66.71
02.04	RELLENO DE ZANJAS. RECUBRIMIENTO			
	RELLENO DE ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO. RECUBRIMIENTO	M3		321.42
02.05	RELLENO DE ZANJAS. ACABADO			
	RELLENO DE ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO. ACABADO	M3		463.17
02.06	RELLENO SUSTRATO FILTRANTE HUMEDAL			
	RELLENO DEL SUSTRATO FILTRANTE CON GRAVA FINA DE RÍO COMPACTADA MECÁNICAMENTE	M3		124.20
02.07	RELLENO ERAS DE SECADO. GRAVA FINA			
	RELLENO DEL SUSTRATO FILTRANTE DE LAS ERAS DE SECADO CON GRAVA FINA	M3		56.70
02.08	RELLENO ERAS DE SECADO. ARENA			
	RELLENO DEL SUSTRATO FILTRANTE DE LAS ERAS DE SECADO CON ARENA	M3		22.05

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UDS	PARCIALES	CANTIDAD
	CAPÍTULO 03. RED DE SANEAMIENTO			
03.01	INSTALACIÓN TUBERÍAS			
	INSTALACIÓN TUBERÍAS DE PVC 160 DN	ML		1,022.00
03.02	POZOS DE REGISTRO			
	EJECUCIÓN POZOS DE REGISTRO DE 40 x 40 CM	UDS		24.00
	CAPÍTULO 04. ESTACIÓN DEPURADORA			
04.01	PRETRATAMIENTO			
	INSTALACIÓN PRETRATAMIENTO PREFABRICADO ACO REMOSA	UDS		1.00
04.02	TANQUE IMHOFF			
	INSTALACIÓN TANQUE IMHOFF PREFABRICADO SALHER	UDS		2.00
04.03	INSTALACIÓN GEOMEMBRANA			
	INSTALACIÓN GEOMEMBRANA HDPE 1 MM	M2		311.04
04.04	INSTALACIÓN CONDUCCIONES. HUMEDAL			
	INSTALACIÓN DE CONDUCCIONES DE PVC 160 DN DE ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	ML		15.00
04.05	EJECUCIÓN ERAS DE SECADO			
	EJECUCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE HORMIGÓN DE LAS ERAS DE SECADO EN HORMIGÓN PSI 2500 PSI	M3		34.31

4. Cuadro de Precios

<u>Nº</u>	<u>CÓDIGO</u>	<u>UD</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>PRECIO EN LETRA</u>	<u>IMPORTE</u>
1	01.01	ML	INSTALACIÓN PERIMETRAL DE CERCA EN TELA VERDE H = 2,10 M	TREINTA MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y NUEVE	30,949.00
2	01.02	M2	DESBROCE MANUAL Y RETIRO DE ESPESOR E = 0,20M	DIEZ MIL CIENTO NOVENTA Y OCHO	10,198.00
3	01.03	UDS	INSTALACIÓN RED TELEFÓNICA PROVISIONAL EN OBRA	TRESCIENTOS CINCUENTA Y CINCO MIL CUATROCIENTOS CUARENTA Y SEIS	355,446.00
4	01.04	M3	RETIRO Y TRANSPORTE DE SOBRANTES A UNA DISTANCIA <= A 5KM	DOCE MIL CIENTO CUARENTA Y TRES	12,143.00
5	02.01	M3	EXCAVACIONES VARIAS A MÁQUINA SIN CLASIFICAR (INCLUYE RETIRO DE SOBRANTES A UNA DISTANCIA <= A 5KM)	VEINTIÚN MIL DOSCIENTOS	21,200.00
6	02.02	M3	EXCAVACIÓN MANUAL DE ZANJAS CON ALTURA <= 1M	CUARENTA Y SIETE MIL DOSCIENTOS DOS	47,202.00
7	02.03	M3	RELLENO DE LAS ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO (LECHO) Y ERAS DE SECADO. ARENA	CIENTO QUINCE MIL CUATROCIENTOS TRES	115,403.00
8	02.04	M3	RELLENO DE ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO. RECUBRIMIENTO	CIENTO SEIS MIL SEISCIENTOS VEINTIOCHO	106,628.00

Nº	CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO EN LETRA	IMPORTE
9	02.05	M3	RELLENO DE ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO. ACABADO	TREINTA MIL NOVECIENTOS TREINTA Y SIETE	30,937.00
10	02.06	M3	RELLENO DEL SUSTRATO FILTRANTE CON GRAVA FINA DE RÍO COMPACTADA MECÁNICAMENTE. HUMEDAL ARTIFICIAL Y ERAS DE SECADO	DOSCIENTOS VEINTISIETE MIL NOVECIENTOS TREINTA Y SEIS	227,936.00
11	03.01	ML	INSTALACIÓN TUBERÍA DE PVC 160	SESENTA Y CUATRO MIL NOVECIENTOS SETENTA Y NUEVE	64,479.00
12	03.02	UDS	EJECUCIÓN POZO DE REGISTRO DE 40 x 40 CM	TRESCIENTOS TREINTA Y DOS MIL CINCUENTA Y OCHO	332,058.00
13	04.01	UDS	INSTALACIÓN PRETRATAMIENTO PREFABRICADO ACO REMOSA	DIECISEIS MILLONES QUINIENTOS Y UN MIL TRESCIENTOS CON SETENTA Y SEIS CENTAVOS	18,864,410.04
14	04.02	UDS	INSTALACIÓN TANQUE IMHOFF PREFABRICADO SALHER	TREINTA Y SIETE MILLONES CIENTO CUARENTA Y SIETE MIL CUARENTA Y NUEVE CON DIEZ CENTAVOS	37,147,049.10
15	04.03	M2	INSTALACIÓN GEOMEMBRANA HDPE 1 MM	DIECINUEVE MIL SEISCIENTOS	19,600.00
16	04.04	M3	EJECUCIÓN DE LAS HERAS DE SECADO EN HORMIGÓN PSI 2500 PSI	CUATROCIENTOS SEIS MIL QUINIENTOS VEINTISEIS	406,526.00

5. Presupuesto de Ejecución Material

Nº	CP	MEDICIÓN	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	IMPORTE	
						COP \$	EUR €
CAPÍTULO 01. PREPARACIÓN DE LA OBRA							
1	1	150,00	ML	INSTALACIÓN PERIMETRAL DE CERCA EN TELA VERDE H = 2,10 M	30.949,00	4.642.350,00	986,06
2	2	1.250,00	M2	DESBROCE MANUAL Y RETIRO DE ESPESOR E = 0,20M	10.198,00	12.747.500,00	2.707,63
3	3	1,00	UDS	INSTALACIÓN RED TELEFÓNICA PROVISIONAL EN OBRA	355.446,00	355.446,00	75,50
4	4	250,00	M3	RETIRO Y TRANSPORTE DE SOBRANTES A UNA DISTANCIA <= A 5KM	12.143,00	3.035.750,00	644,81
COSTES DIRECTOS						20.781.046,00	4.413,99
COSTES INDIRECTOS						1.246.862,76	264,84
TOTAL CAPÍTULO						22.027.908,76	4.678,83

Nº	CP	MEDICIÓN	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	IMPORTE	
						COP \$	EUR €
CAPITULO 02. MOVIMIENTOS DE TIERRA							
1	5	124,92	M3	EXCAVACIONES VARIAS A MÁQUINA SIN CLASIFICAR (INCLUYE RETIRO DE SOBRANTES A UNA DISTANCIA <= A 5KM)	21.200,00	2.648.398,17	562,53
2	6	850,61	M3	EXCAVACIÓN MANUAL DE ZANJAS CON ALTURA <= 1M	47.202,00	40.150.521,54	8.528,15
3	7	66,71	M3	RELLENO DE LAS ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO. LECHO O CAMA	115.403,00	7.698.065,59	1.635,10
4	8	321,42	M3	RELLENO DE ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO. RECUBRIMIENTO	106.628,00	34.272.265,13	7.279,58
5	9	463,17	M3	RELLENO DE ZANJAS DE LA RED DE SANEAMIENTO. ACABADO	30.937,00	14.329.102,66	3.043,56
6	10	124,20	M3	RELLENO DEL SUSTRATO FILTRANTE DEL HUMEDAL ARTIFICIALCON GRAVA FINA DE RÍO COMPACTADA MECÁNICAMENTE	227.936,00	28.309.651,20	6.013,09
7	10	56,70	M3	RELLENO DEL SUSTRATO FILTRANTE DE LAS ERAS DE SECADO CON GRAVA FINA	227.936,00	12.923.971,20	2.745,11
8	7	22,05	M3	RELLENO DEL SUSTRATO FILTRANTE DE LAS ERAS DE SECADO CON ARENA	115.403,00	2.544.636,15	540,49
COSTES DIRECTOS						142.876.611,65	30.347,62
COSTES INDIRECTOS						8.572.596,70	1.820,86
TOTAL CAPÍTULO						151.449.208,35	32.168,48

N°	CP	MEDICIÓN	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	IMPORTE	
						COP \$	EUR €
CAPÍTULO 03. RED DE SANEAMIENTO							
1	11	1.022,00	ML	INSTALACIÓN TUBERÍA DE PVC 160	64.479,00	65.897.538,00	13.996,93
2	12	24,00	UDS	EJECUCIÓN POZO DE REGISTRO DE 40 x 40 CM	332.058,00	7.969.392,00	1.692,73
COSTES DIRECTOS						73.866.930,00	15.689,66
COSTES INDIRECTOS						4.432.015,80	941,38
TOTAL CAPÍTULO						78.298.945,80	16.631,04

Nº	CP	MEDICIÓN	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	IMPORTE	
						COP \$	EUR €
CAPÍTULO 04. ESTACIÓN DEPURADORA							
1	13	1,00	UDS	INSTALACIÓN PRETRATAMIENTO PREFABRICADO ACO REMOSA	18.864.410,04	18.864.410,04	4.046,42
2	14	2,00	UDS	INSTALACIÓN TANQUE IMHOFF PREFABRICADO SALHER	37.147.049,10	74.294.098,20	15.780,39
3	15	311,04	M2	INSTALACIÓN GEOMEMBRANA HDPE 1 MM	19.600,00	6.096.384,00	1.294,90
4	11	15,00	ML	INSTALACIÓN DE CONDUCCIONES DE PVC 160 DN DE ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	64.479,00	967.185,00	205,43
5	16	34,31	M3	EJECUCIÓN DE LAS ERAS DE SECADO EN HORMIGÓN	406.526,00	13.949.533,16	2.962,94
COSTES DIRECTOS						114.171.610,40	24.290,09
COSTES INDIRECTOS						6.850.296,62	1.457,41
TOTAL CAPÍTULO						121.021.907,03	25.747,50
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL						372.797.969,94	79.225,84

6. Presupuesto Base de Licitación

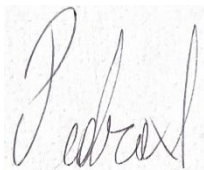
	COP\$	EUR €
PEM	372.797.969,94	79.225,84
13% GASTOS GENERALES	48.463.736,09	10.299,36
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	22.367.878,20	4.753,55
TOTAL SIN IVA	443.629.584,22	94.278,75
TOTAL	527.919.205,23	112.191,72

7. Disposición final

El Presupuesto Base de Licitación asciende a un total de QUINIENTOS VEINTISIETE MILLONES NOVECIENTOS DIECINUEVE MIL DOSCIENTOS CINCO PESOS COLOMBIANOS (COP \$) con VEINTITRES CENTAVOS.

Madrid, septiembre de 2025

El autor del proyecto



Fdo. Pedro Michelini Mufatto